

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ПІДТРИМАННЯ ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
канд. техн. наук, доц.
_____ Попов О.В.
«__» _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
«МАГІСТР»

ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ
«ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН І АВІАДВИГУНІВ»

Тема: «Метод підтримання трибологічних властивостей плунжерних пар паливних насосів високого тиску авіаційних газотурбінних двигунів»

Виконав: _____ **Рахманов Р.О.**

Керівник: канд. техн. наук, доц. _____ **Туз М.Д.**

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

охорона праці: канд. техн. наук, доц. _____ **Казанець В.І.**

охорона навколишнього середовища:
канд. техн. наук, доц. _____ **Пестова І.А.**

Нормоконтролер _____

Київ 2020

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ АВИАЦИОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

КАФЕДРА ПОДДЕРЖАНИЯ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

канд. техн. наук, доц.

_____ Попов А.В.

«__» _____ 2020 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА
(ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА)**

**ВЫПУСКНИКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СТЕПЕНИ
«МАГИСТР»**

**ЗА ОБРАЗОВАТЕЛЬНО-ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРОГРАММОЙ
«ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ И АВИАДВИГАТЕЛЕЙ»**

**Тема: «Метод поддержания трибологических свойств плунжерных пар
топливных насосов высокого давления авиационных газотурбинных
двигателей»**

Выполнил: _____ **Рахманов Р.О.**

Руководитель: канд. техн. наук, доц. _____ **Туз М.Д.**

Консультанты по отдельным разделам пояснительной записки:

охрана труда: канд. техн. наук, доц. _____ **Казанец В.И.**

охрана окружающей среды:
канд. техн. наук, доц. _____ **Пестова И.А.**

Нормоконтролер: _____

Киев 2020

НАЦИОНАЛЬНЫЙ АВИАЦИОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Аэрокосмический факультет

Кафедра поддержания летной воздушных судов

Образовательная степень «Магистр»

Специальность 272 «Авиационный транспорт»

Образовательно-профессиональная программа «Техническое обслуживание и ремонт воздушных судов и авиадвигателей»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

канд. техн. наук, доцент

_____ Попов А.В.

«___» _____ 2019 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

РАХМАНОВА РОВШЕНА ОВЕЗГЕЛЬДИЕВИЧА

1. Тема работы: «Метод поддержания трибологических свойств плунжерных пар топливных насосов высокого давления авиационных газотурбинных двигателей»

утверждена приказом ректора от 09 октября 2019 года № 2316/ст.

2. Сроки выполнения работы: с 14 октября 2019 г. по 09 февраля 2020 г.

3. Выходные данные к работе: статистические данные по результатам опыта эксплуатации топливной системы газотурбинных авиационных двигателей, повреждения, отказы и неисправности топливных насосов высокого давления, уровень контролепригодности насосов высокого давления ГТД, методы восстановления работоспособности.

4. Содержание пояснительной записки: анализ опыта эксплуатации авиационных двигателей, классификация неисправностей топливо-регулирующей аппаратуры, анализ методов повышения надежности насосов высокого давления, разработка методики и практических методов повышения надежности насосов высокого давления ТРА ГТД, разработка вопросов по охране труда и охране окружающей среды.

Графический (иллюстративный) материал выполнено с использованием Microsoft Office Excel, Power Point и представлено в виде презентаций.

6. Календарный план-график

Задание	Срок выполнения	Отметка о выполнении
Анализ опыта эксплуатации авиационных ГТД	14.10.19 – 23.10.19	
Влияние отклонения работы ТРА на технические характеристики двигателей. Постановка задачи исследований	24.10.18 – 30.11.18	
Выбор и обоснование математической модели износа плунжерных пар насосов высокого давления ГТД	01.12.19 – 31.12.19	
Разработка методов повышения надежности насосов высокого давления ГТД	01.01.20 – 16.01.20	
Апробация предложенных методов повышения надежности топливных насосов высокого давления	17.01.20 – 25.01.20	
Выполнение отдельных разделов работы: охрана труда, охрана окружающей среды	26.01.20 – 24.01.20	
Оформление пояснительной записки и иллюстративного материала	25.01.20 – 01.02.20	
Предзащита дипломной работы	02.02.20 – 05.02.20	

7. Консультанты по отдельным разделам

Раздел	Консультант	Дата, подпись	
		Задание выдал	Задание принял
Охрана труда	Канд. техн. наук, доцент Казанец В.И.		
Охрана окружающей среды	Канд. техн. наук, доцент Пестова И.А.		

8. Дата выдачи задания: «___»_____ 2019 года.

Руководитель дипломной работы _____ Туз Н.Д.

Задание к выполнению принял _____ Рахманов Р.О.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка к дипломной работе «Метод поддержания трибологических свойств плунжерных пар топливных насосов высокого давления авиационных газотурбинных двигателей»:

с., рис., табл., источн.

Объект исследования – детонационно-газовые износостойкие покрытия для повышения износостойкости плунжерных пар.

Предмет исследования – формирование и износ поверхностных структур детонационно-газовых покрытий.

Цель дипломной работы – разработка методов повышения износостойкости и надежности при производстве и ремонте плунжерных насосов высокого давления авиационных газотурбинных двигателей методом детонационного напыления.

Методы исследования.

Для решения поставленных задач использовались элементы теории износа, методы: математического, компьютерного моделирования, натурного эксперимента. Практическое значение дипломной работы заключается в повышении эффективности методов ремонта топливных насосов за счет нанесения износостойких покрытий детонационным методом, что позволяет значительно повысить ресурс отремонтированных изделий авиационной техники, работающих в условиях трения.

Разработанные в дипломной работе рекомендации могут быть предложены для совершенствования методов ремонта изделий авиационной техники, работающих в условиях трения.

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ, ПЛУНЖЕР, ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ,
ДЕТОНАЦИОННОЕ НАПЫЛЕНИЕ, РЕСУРС**

Содержание

Перечень условных сокращений, значений и индексов

Введение

1 Результаты опыта эксплуатации топливного насоса высокого давления авиационного двигателя

- 1.1 Анализ отказов и неисправностей плунжерных насосов высокого давления
- 1.2 Виды и физическая сущность отказов и повреждений агрегатов топливно-регулирующей аппаратуры в эксплуатации
- 1.3 Влияние неисправностей топливно-регулирующей аппаратуры на выходные параметры двигателя
- 1.4 Условия нагрузки плунжерных пар
- 1.5 Постановка задач и схема проведения исследований

Выводы к разделу 1

2 Методика и средства исследования состояния покрытий, работающих в условиях трения

- 2.1 Методологические положения и оборудование для изучения процессов изнашивания трибосоединений при их эксплуатации в условиях трения
- 2.2 Основы производства порошковых материалов и оборудования для детонационно-газового напыления
- 2.3 Математическая модель износа покрытий

Выводы к разделу 2

3 Экспериментальные исследования технологий повышения качества детонационных покрытий

- 3.1 Оценка уровня остаточных напряжений и их влияние на износостойкость покрытий
- 3.2 Распределение технологических остаточных напряжений по толщине покрытий
- 3.3 Влияние отжига на величину и распределение остаточных напряжений в покрытиях
- 3.4 Термическая обработка газотермических покрытий высококонцентрированными потоками энергии
- 3.5 Особенности строения и износостойкость аморфных и микрокристаллических детонационных покрытий

Выводы к разделу 3

4 Охрана труда

- 4.1 Общие положения
- 4.2 Опасные и вредные производственные факторы, действующие при техническом обслуживании системы (НПАОП 63.23 – 1.06 – 98, ГОСТ 12.001 – 74 ССБТ)
- 4.3 Технические и организационные меры по уменьшению уровня воздействия опасных и вредных производственных факторов (НПАОП 63.23 – 1.06 – 98)
- 4.4 Расчет контурного заземления на стоянке при техническом обслуживании топливной системы ДБНВ.2.5-28-2006
- 4.5 Обеспечение пожарной и взрывной безопасности при техническом обслуживании топливной системы (НПАОП

5.1.30-1.06-98)

4.6 Инструкция по технике безопасности при техническом обслуживании топливной системы

Выводы к разделу 4

5 Охрана окружающей среды

5.1 Общие положения

5.2 Требования к качеству авиационного топлива

5.3 Требования безопасности

5.4 Требования охраны окружающей среды

5.5 Пути улучшения экологических свойств авиационного топлива

Выводы к разделу 5

Общие выводы и рекомендации

Список библиографических ссылок использованных источников

ПЕРЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ, ЗНАЧНИЙ И ИНДЕКСОВ

АД	– авиационный двигатель;
АТ	– авиационная техника;
БП	– безопасность полетов;
ВВ	– вредные вещества;
ВНА	– входной направляющий аппарат;
ВС	– воздушное судно;
ГА	– гражданская авиация;
ГСМ	– горюче-смазочные материалы;
ГТД	– газотурбинный двигатель;
ДГК	– детонационно-газовый комплекс;
КВД	– компрессор высокого давления;
МГ	– малый газ;
НР	– насос-регулятор;
ПБ	– пожарная безопасность;
ТНВД	– топливный насос высокого давления;
ТО	– техническое обслуживание;
ТОиР	– техническое обслуживание и ремонт;
ТРА	– топливо-регулирующая аппаратура.

ВСТУПЛЕНИЕ

Одним из важных условий обеспечения заданного уровня безопасности полетов (БП) и повышения эффективности использования воздушных судов (ВС) является разработка и внедрение в практику производства и ремонта современных технологий, обеспечивающих повышение ресурса наработки отдельных изделий, обеспечивающих увеличение продолжительности эксплуатации, а следовательно и эффективности использования авиационной техники (АТ). Одним из актуальных направлений является повышение эффективности ремонта агрегатов топливно-регулирующей аппаратуры (ТРА) газотурбинных двигателей (ГТД), в качестве основных компонентов их эффективного использования.

Актуальность темы

Одной из важных задач при технической эксплуатации (ТЭ) АТ, в частности, при эксплуатации ГТД, является обеспечение надежности работы ТРА, основным элементом которой является насос-регулятор (НР). Широкий диапазон скоростей, температур, нагрузок (в частности знакопеременных) плунжерной пары, условий эксплуатации акцентирует внимание на постоянном улучшении характеристик материалов и технологических процессов, используемых при ремонте плунжерных пар, расширение их ресурсной базы. Переход по условиям трения от объемных к поверхностным свойствам материалов, создание их конструктивно-чувствительными, реализация принципа анизотропии и универсального явления структурной приспособленности возможно применением композиционных порошковых покрытий.

По данным ИКАО возникновения инцидентов на ВС порядка 28-32 % приходится именно на двигатели. Из них почти 70 % - это отказы, связанные с подачей топлива насосами высокого давления (ТНВД). Основным элементом НР является плунжерный насос. Характерными неисправностями насосов являются следующие:

- Снижение производительности насоса. Проявление в полной неработоспособности двигателя, или внезапным прерыванием работы по команде блока управления в связи с невозможностью обеспечения заданного уровня давления топлива (обычно с ростом частоты и нагрузки). Причиной этого могут быть следующие дефекты.

- Дефекты клапанов. Наименьшая негерметичность любого из автоматических клапанов приводит к невозможности достижения высоких давлений топлива.

Нарушение герметичности может происходить из-за износа клапанов и седел. Загрязнение седла – случайный эффект вследствие нарушения технологии сборки-разборки сети низкого давления, проявления коррозии. Потеря подвижности клапанов приводит к недостаточному наполнению плунжерной полости (впускной клапан) или к чрезмерному давлению в нагнетающем клапане. Увеличенный ход клапана приводит к его преждевременному износу и потере его производительности. Обычно ход клапанов составляет 0,1-0,4 мм. Неисправности клапанов, связанные с перетеканием топлива с большим давлением, сопровождаются локальным нагревом деталей конструкции двигателя.

- Износ плунжерных пар. Происходит в условиях механо-химического износа, характеризующегося минимальными значениями коэффициента трения и износа. Особенность механо-химического износа заключается в том, что во всех случаях оно обусловлено механическим процессом деформации тонких поверхностных слоев и одновременной взаимодействием активных слоев с агрессивными компонентами среды. Для деталей очень часто характерно абразивный износ, при котором разрушение поверхностного слоя деталей осуществляется твердыми частицами пыли и отработанными продуктами сгорания силовых установок ВС. Влияние на интенсивность изнашивания, кроме твердости абразива, оказывает размер и форма абразивных частиц. Износостойкость металла при абразивном износе определяется его способностью сопротивления внедрению абразива в поверхность и разрушению при их взаимном перемещении.

К этим причинам добавляется еще одна – перекашивая момент, действующий на плунжер в конструкциях ТНВД без толкателей. Различия заключаются в меньших технологических зазорах в плунжерной паре и невозможности нормальной работы с увеличенными зазорами.

- Задиры, заклинивание плунжерной пары. Происходят по тем же причинам. Они достаточно вероятны также при монтажных деформациях и нештатных способах установки уплотнений, при возникновении режимов подачи под большим давлением с большим дросселированием на всасывание (возникновение большого

сопротивления на всасывание или низкого давления подкачки). В этом случае заклинивания плунжера обусловлено его разогревом при сжатии большого объема газов.

Износ и задиры в плунжерных парах обусловлены попаданием абразива в топливо, непрофессиональной сборкой, нештатными условиями работы или испытаний ТНВД, с подачей топлива под увеличенным давлением, подачей топлива при недостаточной частоте вращения вала компрессора.

Высокий ресурс работы плунжеров достигается за счет нанесения на поверхности плунжеров износостойких коррозионностойких керамических покрытий с низким коэффициентом трения, а также покрытий детонационным методом, что в несколько раз превышает методы шлифовки и полировки при гальваническом покрытии, азотировании и цементации.

1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

1.1 Анализ отказов и неисправностей плунжерных насосов высокого давления

На современные ЛА и АД устанавливаются насосы плунжерного типа в гидравлических и топливных системах. Одной из основных систем, определяющей устойчивую работу АД является ТРА, работоспособность которой во многом зависит не только от качества топлива, но и конструктивных особенностей и технического состояния ее элементов. От 40 до 70 % авиационных происшествий, связанных с отказом техники, происходит из-за отказов ГТД и агрегатов топливных систем. До 50 % этих отказов связано с нарушением работы ТРА. Основными элементами ТРА, что отказали в результате повышения трения, заклинивания, слипания, засорение из-за попадания посторонних частиц, являются плунжерные пары, цилиндрические золотниковые пары возвратно-поступательного типа (ТНВД, клапаны постоянного перепада давления, клапаны блокировки, автоматы

дозирования топлива и т.д.), доля отказов которых в системе ТРА составляет до 52 %.

Наибольшее влияние вызывают конструктивные факторы (61 % от общего количества факторов). На долю эксплуатационных факторов, характеризующих особенности эксплуатации ВС, технического обслуживания агрегатов ТРА приходится до 25 % от общего количества факторов.

В процессе эксплуатации АД износ деталей ТНВД приводит к уменьшению цикловой подачи топлива q . Такое уменьшение подачи топлива непосредственно из-за износа деталей достаточно сложно. Но эту связь можно выразить через наработку t и давление, создаваемое плунжерной парой p , которые имеют непосредственную зависимость от величины износа деталей.

Расход топлива является основным параметром характеристики работы ТНВД. Изменение расхода топлива для различных ТНВД при одинаковой наработке будет разным. Это изменение зависит от состояния плунжерной пары, точнее, от давления, которое она создает. Давление, создаваемое плунжерной парой, связано с общим износом плунжерной пары.

$$\tau = \tau_0 A^{-kt}, \quad (1.1)$$

где τ_0 - начальная плотность;

A - постоянная, характеризующая влияние начальной плотности;

k - коэффициент, учитывающий интенсивность износа плунжерных пар;

t - продолжительность эксплуатации.

1.2 Виды и физическая сущность отказов и повреждений агрегатов топливно-регулирующей аппаратуры в эксплуатации

Топливные и гидравлические системы летательных аппаратов относятся к числу наиболее ответственных с точки зрения безопасности полетов, так как они

непосредственно влияют на работоспособность силовой установки, системы управления и других элементов конструкции.

По особенностям конструкции, технологии изготовления и ремонта, по условиям нагрузки в эксплуатации и специфике отказов и неисправностей пары трения топливных и гидравлических агрегатов представляют собой своеобразный тип подвижных соединений деталей машин, изучению износостойкости которых не уделялось достаточного внимания.

В результате разрушения и заклинивания пар трения возникают отказы агрегатов. При ремонте детали пар трения гидравлических и топливных агрегатов в значительной степени отбраковываются вследствие повреждений, возникающих в процессе эксплуатации.

Четкое представление о причинах отказа, механизма износа и повреждаемости деталей, их влияние на функционирование соответствующих регулирующих, распределительных и других устройств являются необходимыми условиями для объективного определения причин отказов топливных и гидравлических агрегатов и своевременной разработки мероприятий по их предупреждению.

Поэтому одной из научно-технических проблем, требующих своего решения с целью повышения безотказности авиационных агрегатов, является изучение физической сути процессов, определяющих нарушение работоспособности пар трения гидравлических и топливных агрегатов, разработка научно-методических основ исследования причин их неисправностей и изобретение способов повышения безотказности .

Систематизированы характерные особенности износа и разрушения пар трения гидравлических и топливных агрегатов.

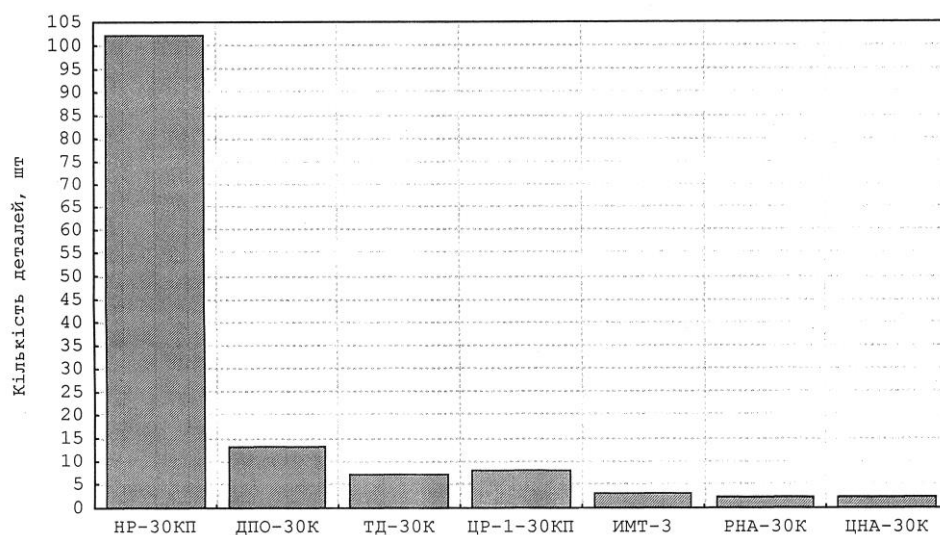


Рисунок 1.1 – Распределение суммарного количества критических деталей по агрегатам ТРА двигателя Д-30КП / КП2

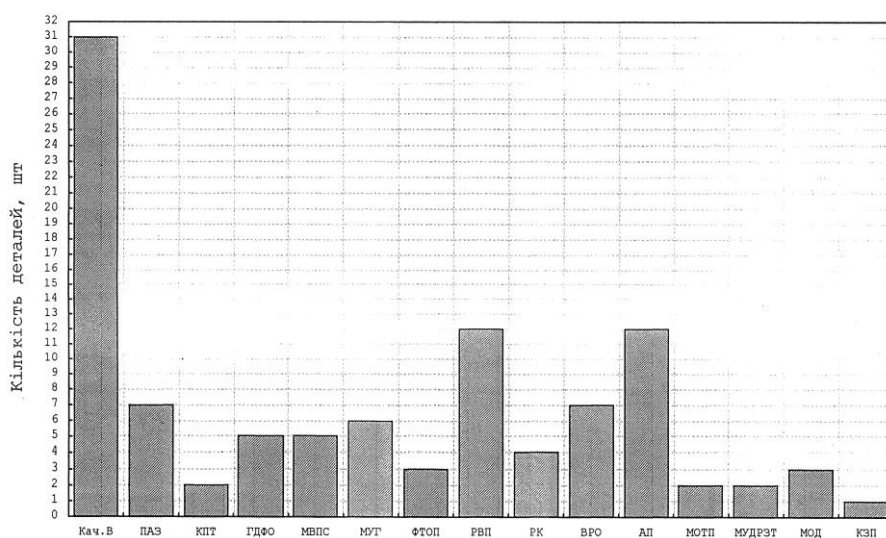


Рисунок 1.2 – Распределение общего количества критических деталей по узлам НР-30КП

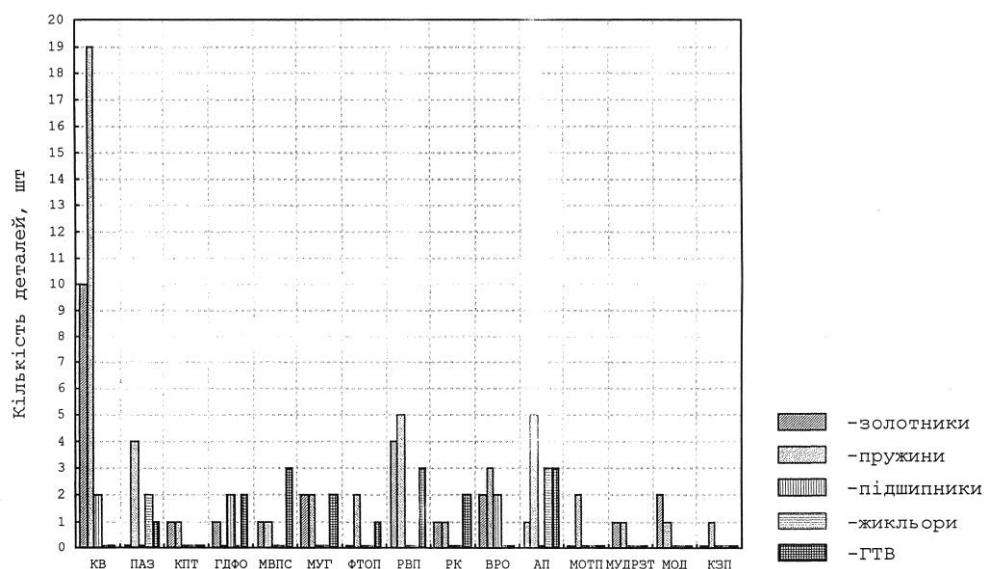
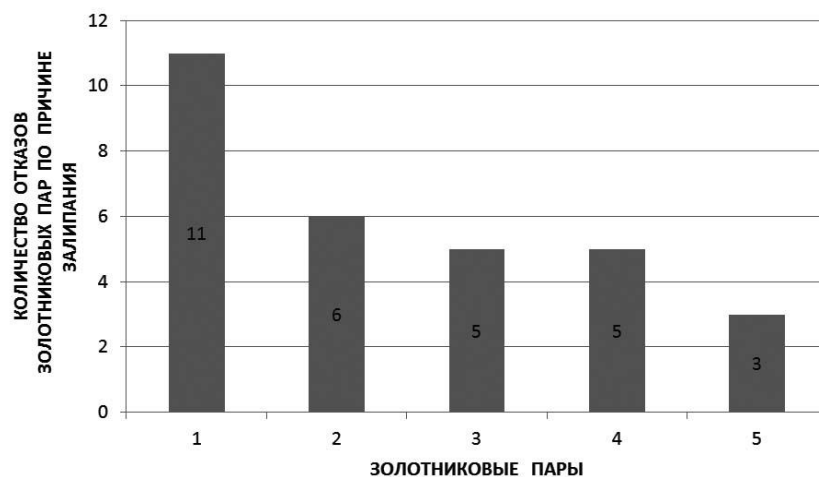


Рисунок 1.3 - Диаграмма распределения критических деталей по узлам НР-30КП

Современное состояние вопроса безотказности элементов ТРА иллюстрируется данными, приведенными на рисунке 1.4, полученными при диагностировании отказавших агрегатов, при ремонте, в частности насоса регулятора НР-30КП на Внуковском авиаремонтном заводе за период 2000-2009 гг.



1 – золотник 3035.268.1 во втулке 672.106 - клапана постоянного перепада давления топлива, 2-золотник 3141.021 во втулке 3127.323 - клапана блокировки,

3 - золотник 3035.061 во втулке 3027-105-1- узла отключения стартера,

4 - золотник 3035.142.1 во втулке 3035-143 АРТ, 5 - золотник 3035.399 во втулке датчика оборотов

Рисунок 1.4 – Диаграмма количества отказов золотниковых пар насосов НР-30КП
по причине их залипания

Наиболее характерными дефектами деталей ТРА бывают риски и задиры в отверстиях под шток сервопоршня, износ наружного диаметра плунжеров, изменение геометрии сферической поверхности плунжеров. Изменение внутренних размеров отверстий под плунжеры в отверстиях агрегатов. Характерным дефектом ТРА являются также коррозия деталей, повреждения на резах штуцеров, нарушение герметичности агрегатов.

На рисунках 1.5-1.8 приведены характерные повреждения насосов.



Рисунок 1.5 – Выработка



Рисунок 1.6 – Повышенный износ



Рисунок 1.7 –Разрушение



Рисунок 1.8 – Деформация

Причиной возникновения названных дефектов, связанных с износом внешних или внутренних поверхностей деталей, является наличие в жидкости мелкодисперсных частиц загрязнений или частиц износа рабочих поверхностей деталей в процессе трения. Эти дефекты относят к группе закономерных, поскольку помешать их возникновению практически невозможно.

Количественные характеристики износа рабочих поверхностей деталей в процессе трения меняется в зависимости от различных факторов, обусловленных условиями эксплуатации агрегатов.

Во время дефектации износа деталей агрегатов определяют допустимые и недопустимые дефекты. Детали с допустимыми дефектами подлежат восстановлению, а с недопустимыми - бракуются.

Изношенные детали агрегатов восстанавливают путем предоставлением им ремонтных размеров. Величина ремонтного размера каждой детали устанавливается нормативными требованиями. Как правило, ремонтные размеры получают детали цилиндрической формы. При этом изношенные внутренние поверхности деталей получают ремонтные размеры в результате их механической обработки. Во время механической обработки отверстие детали получает сначала правильную геометрическую форму (цилиндрическую), а затем конечный ремонтный размер. Ремонтный размер отверстия детали всегда увеличивается на определенную величину при механической обработке. При этом соблюдаются изменения размера

отверстия на величину, так называемого «ремонтного допуска», который установлен техническими требованиями для каждой детали отдельно.

1.3 Влияние неисправностей топливо-регулирующей аппаратуры на выходные параметры двигателя

В таблицу 1.1 сведены агрегаты ТРА и их элементы, что позволяет классифицировать влияние повреждений и неисправностей на выходные параметры двигателя, такие как тяга, расход топлива, несоответствие параметров на различных режимах работы, отклонения программы управления и тому подобное.

Таблица 1.1 - Поврежденные детали ТРА Д-30КП/КП2 и их влияние на параметры двигателя

Агрегат, узел	Поврежденная деталь	Влияние на параметры двигателя
НР-30КП		
Качающий узел	Подшипник ротора	колебания параметров двигателя на стационарных режимах
	Плунжеры	заниженные значения параметров ГТД, недобор тяги (T_g^* , Р)
	Пружины плунжеров	
	Золотниковая шайба	
Топливный автомат запуска	Золотник	несоответствие $\tau_{\text{зап}}$ ТУ
	Мембрана	превышение $\tau_{\text{зап}}$, не запуск ГТД
	Пружина	превышение T_g^* во время запуска
	Золотник	несоответствие параметров ГТД на режимах выше МГ

	Пружина	
	Жиклер	
	Пружина высотного корректора	Несоответствие $\tau_{\text{зап}}$ при висотном запуске
Клапан постоянного давления	Золотник	Аномальный характер изменения параметров ГТД на разных режимах работы
	Пружина	
Регулятор расхода топлива	Жиклер УСГ	Низкий темп изменения параметров при сбросе газа

Продолжение таблицы 1.1

	Пружина УСГ	завышенные значения на режиме МГ
	Пружина ползуна	Невыход на режим выше МГ
	Золотник ДК УСГ	Резкое уменьшение значений параметров при сбросе газа
	Золотник МГ	Аномальное изменение параметров на режиме МГ
	Уплотняющие кольца золотника МГ	
	Пружина регулирующей головки	Аномальное изменение параметров в диапазоне режимов работы от ЗМГ до ПАР
	Золотник дифклапана	
	Пружина дифклапана	
	Уплотнительные кольца золотника дифклапана	
ДПО-30К	Золотник КПА	Отклонение от программы управления

		ВНА КВД, неустойчивая работа компрессора
	Золотник КПВ	Отклонение от программы управления КПВ из-за 5-6 ступеней КВД, неустойчивая работа компрессора
	Командный золотник механизма управления КПВ	
	Пружина исполнительного золотника механизма управления КПВ	Закрытие КПВ при $n_{вт.пр} < 79\%$
	Исполнительный механизм управления КПВ	Отклонение от программы управления КПВ из-за 5-6 ступеней КВД, неустойчивая работа компрессора
	Пружина исполнительного золотника механизма управления КПВ	

Окончание таблицы 1.1

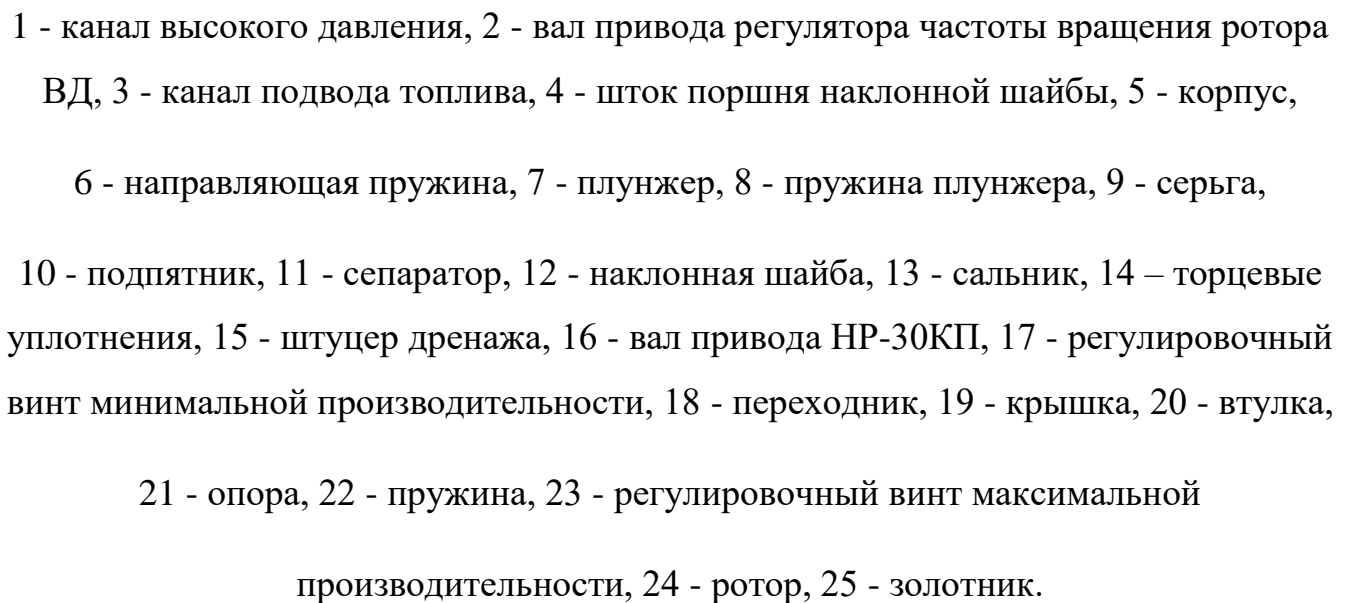
	Золотник выработки $P_{по}$	Отклонение от программ управления ВНА КВД и КПВ, неустойчивая работа компрессора
	Манжеты и пружины уплотнения валика привода	Подтекание топлива в районе ДПО-30К
	Подшипники	Неисправная работа датчика $n_{вт.пр}$, которая

		проявляется в невыполнении программы управления ВНА, КПВ
	Пружина рычага	Несоответствие программы управления ВНА, КПВ при работе ГТД в условиях низких значений T_v^*
	Пружина КПВ	Открытый перепуск воздуха из-за 5-6 ступени КВД при $n_{вд} < 14 \%$, $n_{вд} > 79 \%$

1.4 Условия нагрузки плунжерных пар

Плунжерный насос высокого давления насоса регулятора НР-30КП обеспечивает подачу топлива к форсункам камеры сгорания, в соответствии с режимами работы двигателя и системы автоматического управления.

Принцип действия насоса заключается в том, что при вращении ротора, благодаря наклонному расположению шайбы, плунжеры совершают возвратно-поступательное движение в своих гнездах, расположенных в роторе, всасывая из канала подвода в течение полуоборота ротора насоса топливо через всасывающее окно золотника и выталкивая его в течение второго полуоборота через нагнетающее окно золотника в канал линии высокого давления.



Поршень имеет рабочий цикл, состоящий из трех этапов: заполнение рабочей камеры жидкостью; переносом жидкости, находящейся в рабочей камере, из полости всасывания (низкого давления) в полость нагнетания (высокого давления); выдавливания жидкости из рабочей камеры. Наклон шайбы меняется под действием поршня серводвигателя.

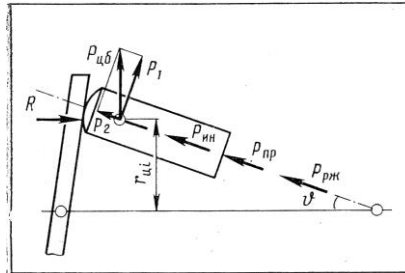


Рисунок 1.10 – Схема нагрузки плунжерной пары

На плунжер в процессе работы действует ряд сил (рисунок 1.10). При выдавливании жидкости плунжером на него действуют вдоль оси: сила давления рабочей жидкости $P_{р.ж}$, сила инерции при относительном движении $P_{ин}$, сила пружины $P_{пр}$. По направлению радиуса, проходящего через центр тяжести плунжера, действует центробежная сила $P_{ц}$. В точке соприкосновения сферической поверхности плунжера с плоскостью наклонной шайбы действует по направлению радиуса сферы плунжера сила реакции R .

Сила давления жидкости, действующей на плунжер, является результирующей от давления жидкости, действующей со стороны магистрали нагнетания $P_{МН}$ и с другой стороны плунжера из полости корпуса $p_{кор}$:

$$P_{рж} = (p_{МН} - p_{кор}) \pi d^2 / 4 \quad (1.2)$$

где d – диаметр плунжера.

Сила инерции плунжера в относительном движении определяется по формуле

$$P_i = - m j, \quad (1.3)$$

где m – масса плунжера; j – ускорение, с которым движется плунжер.

Центробежная сила инерции плунжера определяется по формуле

$$P_{ц} = m r_{цв} \omega^2, \quad (1.4)$$

где $r_{цв}$ – расстояние от оси вращения ротора насоса к центру тяжести плунжера при данном угле поворота ротора.

Центробежную силу можно разложить на две составляющие: P_1 и P_2 . Сила P_1 действует на плунжер в радиальном направлении и прижимает его к поверхности гнезда. От величины этой составляющей зависит сила трения в плунжерной паре $P_{т1} = \mu P_1$, где μ - коэффициент трения плунжера в гнезде.

Особенностью нагрузки плунжерной пары является одновременное взаимодействие плунжера с двумя деталями: поверхностью колодца ротора, относительно которой перемещается возвратно-поступательно, и поверхностью обоймы упорного подшипника шайбы, относительно которой происходит качение, вращения и проскальзывание сферической поверхности торца плунжера. С точки зрения условий нагрузки плунжерных пар, определяют их износостойкость, возможность возникновения повреждений и отказов, важными фактами являются обгон обоймы ротора и скорость вращательного движения плунжера, которая резко меняется за каждый оборот ротора.

1.5 Постановка задач и схема проведения исследований

Цель и задачи исследования.

Цель исследований - разработка методов повышения надежности работы плунжерных пар ТНВД при их ремонте и производстве на основе использования поверхностных упрочняющих материалов при детонационном напылении.

Для реализации поставленной цели в работе поставлены следующие задачи:

- выполнить анализ характера повреждений изделий АТ, работающих в условиях трения;
- провести анализ методов повышения качества упрочнения и восстановления деталей функциональных систем АТ при их производстве и ремонте;

- разработать научно-методологические положения повышения эксплуатационных свойств детонационных покрытий для восстановления деталей АТ;

- разработать композиционное покрытие на основе железа с целью повышения эффективности эксплуатации деталей АТ;

- установить области практического использования исследуемых покрытий, с целью повышения качества эксплуатации и ремонта деталей АТ;

Объект исследования - процесс совершенствования организации, средств и технологии ремонтных работ за счет использования защитных покрытий.

Предмет исследования - ремонтные технологии, используемые при восстановлении деталей АТ детонационным покрытиями, имеющими повышенные эксплуатационные свойства

Методы исследования.

Для решения поставленных задач основу исследований составляют взаимодополняющие положения теории математического моделирования, системного анализа, надежности и эффективности систем, а также современные физико-химические методы анализа и синтеза материалов покрытий и структурно-фазового состава их поверхностных слоев.

Выводы к разделу 1

1. На основе анализа конструкции ТНВД ТРА ГТД в качестве объекта исследования выбрано наиболее ответственный элемент насоса - плунжерная пара.

2. Проанализирована конструкция и условия работы ТНВД.

3. На основе статистических данных проанализировано влияние повреждения агрегатов ТНВД на выходные параметры работы двигателя.

4. Рассмотрены условия нагрузки плунжерных пар ТНВД.

На основе этого разработаны методы повышения надежности работы плунжерных пар ТНВД при их производстве и ремонте на основе использования поверхностных упрочняющих материалов при детонационном напылении.

2 МЕТОДИКА И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОКРЫТИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ

Надежная работа авиационной техники в течение всего назначенного или межремонтного ресурса в значительной степени определяется износостойкостью и безотказностью их трибосоединений. Таким образом, возможность обоснованного подхода к проблеме продления ресурса, надежности и технического состояния подвижных соединений объектов АТ непосредственно связана с совершенствованием одного из основных эксплуатационных параметров - их износостойкостью.

2.1 Методологические положения и оборудование для изучения процессов изнашивания трибосоединений при их эксплуатации в условиях трения

В трибофизических системах закономерности возникновения и развития процессов износа определяются свойствами поверхностных слоев. В зависимости от условий эксплуатации качественные и количественные параметры взаимодействия поверхностей могут варьироваться в широком диапазоне. Разработка и применение детонационно-газовых порошковых покрытий является одним из перспективных методов повышения эффективности эксплуатации, технического обслуживания и ремонта АТ.

Специфика применения детонационно-газового напыления обусловлена определенной сложностью процессов формирования покрытий, принципиальной новизной и существенными различиями их от традиционных методов нанесения износостойких слоев, что, в свою очередь, вносит необходимость разработки научно-методологических основ обоснования, постановки и проведения комплексных исследований.

Методологический подход предполагает необходимость рассмотрения показателей надежности восстанавливаемых деталей, разработку основ влияния начального порошкового материала и входных технологических параметров напыления на оптимизацию свойств покрытий, исследования многостадийных процессов в зоне контактного взаимодействия, элементарным актом которого является разрыв межатомных связей и структурно-фазовые превращения, разрушения и регенерация фрагментов тонких пленок (поверхностных структур). Особенность методологического подхода к анализу процессов износа детонационно-газовых порошковых покрытий заключается в тесном взаимодействии экспериментальных и теоретических методов с применением методик комплексного исследования. Согласно этих методик и поставленных задач исследования осуществлялся анализ качественных изменений состояния и свойств рабочих поверхностей, изучение происходящих количественных изменений, а также обоснование выборов приборов и оборудования.

Применительно к детонационно-газовым покрытиям необходимо исследовать: изменения структуры в тонких поверхностных слоях покрытий; изменения их химического состава; тепловые явления при износе; изменения механо-физических свойств поверхностных слоев трибоматериалов; изменения микрогеометрии поверхностей.

При этом реализация комплексных исследований носила многоуровневый системный характер, основные показатели которых взаимосвязаны (рисунок 2.1).

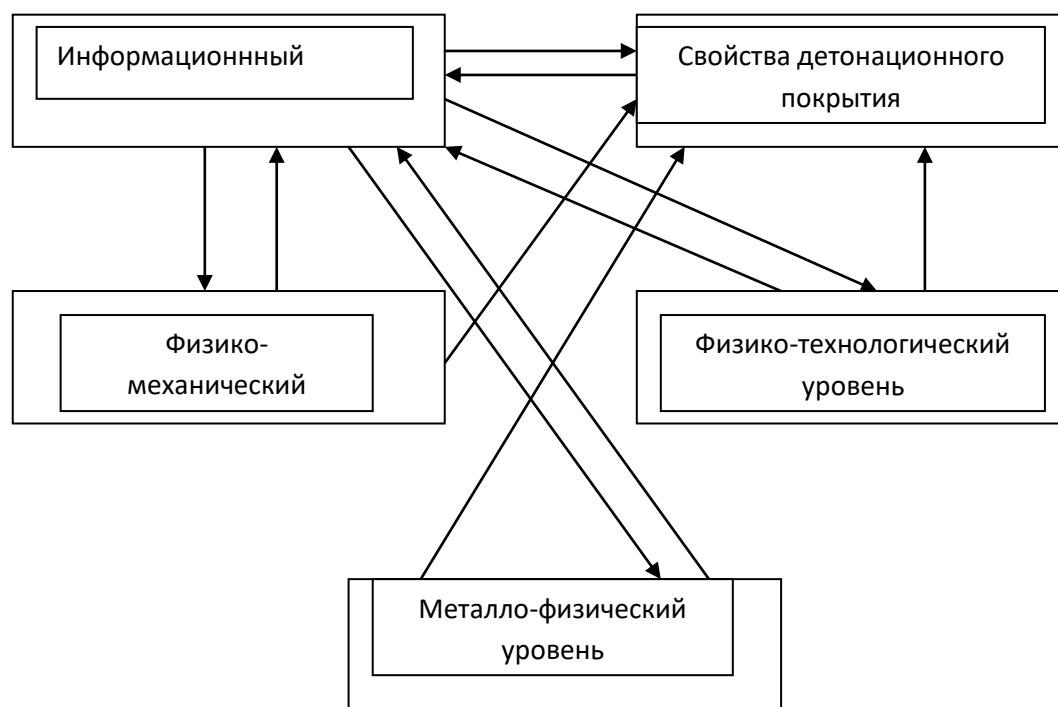


Рисунок 2.1 – Классификация уровней исследования детонационно-газовых покрытий

Физико-механический уровень. На рассматриваемом уровне учитывалось конструктивное многообразие контактных поверхностей трения. При этом оценки качества износостойких детонационно-газовых покрытий в сочетании с анализом условий их эксплуатации стали основой для обоснованного выбора показателей долговечности деталей с учетом количественных закономерностей процесса трения и износа. В частности, интенсивность изнашивания (I_h) – показатель износа, адгезий на прочность сцепления ($\sigma_{сц}$) – показатель влияния технологических параметров детонационного напыления, и микротвердость поверхностных слоев покрытий (H_μ) – показатель, обуславливающий основные свойства материала покрытий. Таким образом, учитывается влияние основных показателей, характеризующих сопротивление износу и технологические параметры покрытий, а также материаловедческих, связанные со структурой и свойствами материалов для напыления.

$$R_{фм} = F(I_h, \sigma_{сц}, H_\mu) \quad (2.1)$$

Металлофизический уровень. При исследовании указанного уровня с целью изучения закономерностей структуры и строения покрытий, объяснения взаимосвязей технология-структура и строение-свойства были использованы тонкие методы исследования. Это – оже- и рентгеноэлектронная спектроскопия, растровая электронная микроскопия, рентгеновский микроанализ, рентгенофазовый анализ. Знание основ и возможностей указанных методов является важным условием успешной деятельности при разработке материалов для напыления и анализа полученных результатов и, в свою очередь, позволило определить следующие положения.

Микроскопические свойства материала покрытий характеризуют действие внешних воздействий на них. Однако указанные свойства определяются внутренними особенностями материала (в частности, распределением и величиной остаточных напряжений ($\sigma_{он}$)), его структурой (S) и строением (CS). При этом под структурой будем понимать атомарное строение материала, включая тип, число и распределение дефектов кристаллической решетки (вакансии, посторонние атомы, дислокации, границы зерен), а под строением – количество фаз, включая величину зерна, их взаимное расположение в объеме и ориентацию.

$$R_{мф} = F(\sigma_{он}, S, CS) \quad (2.2)$$

Физико-технологический уровень. Одним из методологических направлений в разработке порошковых материалов для детонационно-газовых покрытий имеющих высокие триботехнические свойства, стало создание многокомпонентных порошковых смесей методом термодиффузионного легирования за счет гетерогенизации исходного сырья. Проведенные исследования показали, что для легированных сталей и сплавов, полученных методом диффузионного насыщения, в качестве показателя наиболее целесообразно использовать гранулометрический состав порошковых материалов (G). Гранулометрический состав, в свою очередь, меняется в широком диапазоне и зависит от состава исходной шихты ($CP_{ш}$),

режимов диффузионного насыщения ($r_{\text{дн}}$) и последующей обработки порошкового материала ($r_{\text{обр}}$).

$$R_{\text{фт}} = F(G) \quad (2.3)$$

где $G = f(CP_{\text{ш}}, r_{\text{дн}}, r_{\text{обр}})$

Информационный уровень. Развитие и усложнение методов исследования, условий функционирования триботехнических систем показывает, что процесс создания детонационно-газовых покрытий с управляемыми свойствами имеет много решений. Некоторые из них могут не проявляться, быть на уровне «шума», «погрешности опыта». Другие при применении старого математического подхода теряют свой физический смысл. Поэтому исследователю необходимо учитывать качество информации (Q): важность (imp), срочность (e), степень противоречивости (dc). Также принятие того или иного решения, в свою очередь, зависит от характера исследований (TE): ресурсного обеспечения (rp) и научной деятельности (se).

$$R_i = F(Q, TE) \quad (2.4)$$

где $Q = f(\text{imp}, e, dc)$, $TE = f(rp, se)$.

Анализ полученного формализованного описания и проведенных исследований позволил ввести следующие значения весомости влияния предложенных уровней исследования на свойства детонационных покрытий системы Fe-Cr-Al-B:

- Физико-механический уровень – 0,25
- Металлофизический уровень – 0,25
- Физико-технологический уровень – 0,2
- Информационный уровень – 0,3

В качестве трибопокрытий сравнения использовали покрытие на основе карбида вольфрама и закаленные стали типа 30ХГСНА. Указанные покрытия

материалы получили широкое признание в практике и внедрения в промышленности.

2.2. Основы производства порошковых материалов и оборудования для детонационно-газового напыления

Возможности технологии детонационно-газового напыления износостойких покрытий в значительной степени зависит от ассортимента и качества исходных порошковых материалов. Они должны иметь: незначительную скорость диссоциации и сублимации в процессе напыления; минимальное химическое взаимодействие с продуктами детонации; определенный гранулометрический состав и форму частиц.

Так же указаны требования должны учитывать физико-химические свойства материала, теплопроводность, коэффициент термического расширения, твердость, плотность и др.

Доли порошковых материалов для напыления должны иметь сферическую или сфероподобную форму. Такие порошки имеют хорошую сыпучесть, что позволяет регулировать и поддерживать постоянный расход материала при напылении. Доли порошковых материалов сложной формы затрудняют подачу порошка из бункера и вызывают его неравномерную расход, что снижает стабильность процесса напыления и соответственно, гомогенность свойств покрытия.

Порошковые материалы такой формы имеют большую удельную поверхность и легче меняют свои первоначальные свойства при движении в высокотемпературном газовом потоке. При взаимодействии потока частиц с газом может происходить: адсорбция газа на поверхности частиц с последующей химической взаимодействием и образованием окисных пленок; адсорбция и растворения газов в жидкой фазе; адсорбция с диффузным перемещением молекул газа внутрь частицы; механическое смешивание продуктов поверхностной взаимодействия в объеме частиц вследствие конвективных потоков и механических

возмущений. Высокие скорости взаимодействия, большое количество взаимосвязанных факторов, многообразие агрегатного и фазового состояний затрудняют экспериментальные и теоретические исследования кинетики процессов при взаимодействии частиц порошка и продуктов детонации.

Размер частиц порошкового материала при напылении и его гранулометрический состав значительно влияет на процесс напыления и свойства материала, получаемого. Решающими факторами при определении оптимального размера частиц порошкового материала является его теплофизические свойства, температура плавления, теплопроводность, удельная теплоемкость, плотность и др., а также термодинамические характеристики детонационного газового потока.

При напылении порошкового материала, состоящего из смеси частиц различных диаметров, более мелкие частицы нагреваются до температуры плавления и активно взаимодействуют с продуктами детонации. Так, при напылении порошка никеля разного размера рентгенографическим анализом было установлено, что для более крупных частиц на диаграммах появляются линии только никеля, в то время как для покрытий на основе мелкого порошка, на диаграммах наблюдаются интерференционные линии никеля и его окислов. В результате изменения первоначального состава порошкового материала может пострадать качество покрытия. Чтобы избежать этого напыления необходимо делать порошок определенной фракции. Для детонационно-газового напыления обычно используют порошки с размером частиц менее 40 мкм. Гранулометрический состав порошкового материала влияет на прочность сцепления покрытия с основой. Так, при напылении частиц никеля размером 5 мкм прочность сцепления оказалась на 25% меньше, чем при напылении порошком с размером частиц 20-40 мкм. Таким образом, выбор гранулометрического состава порошкового материала для детонационно-газового напыления имеет важное значение для формирования покрытий и существенно влияет на их эксплуатационные свойства. Рекомендации по научно обоснованному выбору материалов по их химическим и

гранулометрическим составом для получения покрытий с заданными свойствами в литературе почти отсутствуют.

В проведенных исследованиях в качестве исходного сырья для напыления покрытий системы Fe-Cr использовали порошковые материалы на основе железа марок НЖГМ и на основе никеля - порошки никеля ПНЭ-2, для покрытий никель-железо - порошки нержавеющей стали ПРХ18Н9 или ПРОХ18НЮ, а также порошки ПХ23Н18 или ПХ18Н15, кроме того, для покрытий применяли порошок ПХ13М2, полученный размола из стали Х13М2, и порошок ПР6М5-43 из инструментальной стали Р6М5.

Порошковый материал просеивается в сите с сеткой 010 для отделения конгломератов. Затем порошки фракции минус 010 засыпаются в поддоны слоем 40-50 мм и сушатся в течение 2 часов при температуре 150 ± 20 °С с перемешиванием.

Сушка порошковых материалов производится не позднее, чем за 24 часа до приготовления шихты. Компоненты шихты каждого состава взвешивают с точностью до 0,005 кг и загружают в барабан до 1/3 его объема и добавляют «ерши», масса которых должна составлять 30% от массы шихты. Так же в барабан досыпают стальные шарики общей массой 20% от массы шихты. Затем в течение 2 часов производится перемешивание. Химико-технологической обработки шихту засыпают в контейнер слоем 15-20 мм. Затем на слой шихты устанавливаются ребром термопоглощающие пластины со щелями между стенками контейнера и между ними не более 8 мм. Пластины предназначены для поглощения тепла, выделяемого в начальный период разогрева контейнера вследствие экзотермического эффекта при взаимодействии шихтовых материалов между собой. Таким образом предотвращается плавления и чрезмерное спекания материала, получаемого. В промежутки между пластинами без сотрясения засыпается шихта, пока не покроет их полностью. Затем на слой шихты заключается прокладка из асбестового картона. На прокладку засыпают прокаленный при температуре 950 ± 20 °С песок слоем 20-25 мм, который покрывается крошкой силикат-глыба (толщина должна составлять 20-25 мм). Для снижения температуры плавления силикат-глыбы ее присыпают бурой. Расход буры составляет 20-40 г на 1 дм³

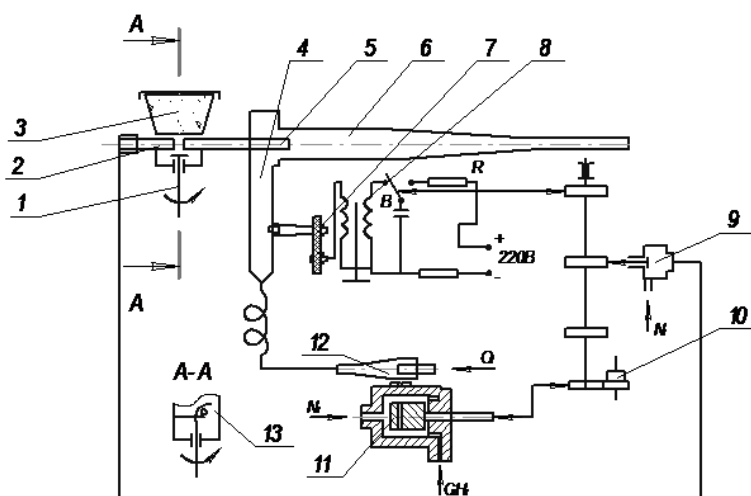
площади. Подготовленные таким способом контейнеры устанавливают в нагретую до температуры 910 ± 10 °С в печь и выдерживают 7:00. Затем контейнеры вынимают из печи, охлаждают на воздухе до температуры 25 ± 10 °С и раскрывают. Испеченный материал расслаивают по Теплопоглощающие пластинам, которые извлекаются из композита. Полученные куски отправляются на щеточную дробилку до получения частиц диаметром до 5 мм. Затем частицы композита засыпают в шаровую мельницу, который Футерованные твердосплавными пластинами, а также добавляют шарики из твердого сплава. Соотношение массы шариков к массе композита, что размалывается должно составлять 2,5:1. Продолжительность процесса размол составляет 6 часов. Затем композит просеивают (сетки 0063 и 008). Остаток на сетке 008 снова измельчают в течение 2 часов, после чего просеивают на тех же сетях. После процедуры просеивания полученный порошковый материал промывают. Отмытый порошок помещают в поддон и ставят в сушильный шкаф, который нагрета до температуры 160 ± 20 °С. Процесс сушки с периодическим объемным перемешиванием продолжается в течение 1,5-2 часов. Просушенные порошковые материалы фракций минус 0063 и плюс 0063 упаковывают и маркируют.

Разработанная технология получения композиционных порошковых материалов отличается простотой и может использоваться как на специализированных предприятиях по производству порошков, так и непосредственно на участках детонационно-газового напыления. Принимая во внимание стоимость порошков нихрома и нержавеющей стали были исследованы вариант получения порошков из отдельных компонентов сплава. Проведенные испытания показали, что по своим эксплуатационным свойствам покрытия с таки порошков не отличаются от таковых для порошков на основе сплавов. В этом случае стоимость порошков, полученных по разработанной технологии существенно снижается. Учитывая невысокую плотность разработанных материалов ($\gamma = 5,8-6,1$ г/см³) по сравнению со сплавами типа ВК ($\gamma = 14,5-15,0$ г/см³) следует отметить, что

весовые расходы этих материалов по сравнению с порошками на основе карбида вольфрама меньше в 2-3,7 раза.

Практика показывает, что одним из важных процессов в технологическом цикле производства порошковых смесей, определяющих эксплуатационные свойства покрытий, является обработка в шаровых мельницах (размол). Кроме того, вместе с характером размола и смешивания большое значение имеет окружающая среда процесса. Наряду с сухим размолу, при производстве порошковых смесей для детонационно-газового напыления была использована технология «мокрого» размола. Такой размол осуществляли в жидкой среде. Это способствует диспергированию материала за счет того, что в микрощели и порах благодаря действию капиллярных сил создается повышенное давление, и более активное разрушение конгломератов в присутствии жидкости облегчает смешивания порошковых смесей.

Приготовленные по описанной технологии порошковые материалы, напыленные детонационно-газовым методом на установке типа АДК-1 (автоматический детонационный комплекс), разработанной в ИПМ НАН Украины (рисунок 2.2). Установка состоит из ствола, в который через электромагнитные клапаны подается газовая смесь: ацетилен-кислород (рабочий газ) и азот (продувочный газ). В ствол вмонтирована свеча зажигания.



1 - смеситель с лопатками; 2 - сопло подачи транспортирующего газа;

3 - бункер порошкового источника; 4 - камера зажигания; 5-сопло подачи газопорошковой смеси; 6 - ствол, 7 - зажигание; 8 - блок зажигания; 9 - клапан подачи транспортирующего газа, 10 - привод распределительного вала,

11 - трехходовой клапан; 12 - инжекционный смеситель; 13 - перегородка

Рисунок 2.2 - детонационно-газовый комплекс АДК-1

Порошковый материал подается через дозатор из бункера в ствол установки. Заполнение ствола рабочим газом производится из баллонов через редукторы, запорные вентили, регуляторы давления, обратные клапаны, смеситель, водный затвор. Продувочный газ подается через регулятор давления, дроссель и электромагнитный клапан. Управление работой установки осуществляется с электронного пульта. Таким образом, автоматический комплекс для детонационно-газового напыления АДК-1 объединяет в одно целое, как саму установку, так и газораспределительный пульт подачи рабочей среды, рабочий механизм, пульт управления. Технические возможности автоматического детонационного комплекса приведено в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики установки для детонационно-газового напыления

Характеристики	Показания
Давление рабочей среды, атм:	
кислород	2
Ацетилен	1,4
Азот, воздуха	3
Расход рабочей среды по каждому из компонентов газов, м ³ /год	1,25-3,15
Калибр ствола, мм	22

Частота рабочих циклов	3-6
Дистанция напыления, мм	160-190
Толщина покрытия за один цикл, мкм	5-30
Коэффициент использования порошка, %	60-80
Потребляемая мощность, Вт	300
Напряжение, В	220
Частота, Гц	50
Производительность, кг/ч:	
ВК-15	до 8
Fe-Cr композиция	до 46
Габариты установки, мм	2000×1050×400
Масса установки, кг	90

2.3 Математическая модель износа покрытий

Трение в условиях отсутствия смазочных материалов является хотя и экстремальным, но достаточно распространенным видом контактного взаимодействия. Поэтому закономерности процесса изнашивания покрытий, установке при этом, можно обобщить и на другие виды трения с учетом их особенностей и механизмов.

На основе теории износа от усталости, данные которой удовлетворительно согласуются с результатами экспериментальных и натурных испытаний в условиях одномерного распределения давлений, изложены подход к исследованию кинетики изнашивания с учетом основных положений структурной приспособляемости материалов пар трения.

При контактном взаимодействии на рабочих поверхностях возникают силы трения, в результате действия которых поверхностный объем покрытия в области трения подвергается износу. Считаем, что допустимые изменения размеров деталей по нормали к поверхности трения малые и сравнению с допусками их размеров или зазоров в подвижных соединениях. В этом случае изменение первоначального профиля поверхности трения вследствие износа описывается функциями $h_k(\alpha, \beta, L_k)$, где $k=1,2$. Каждая из функций характеризует расстояние по нормали к плоскости скольжения от точки с координатами λ, β , что на поверхности детали после пройденного пути трения L_k .

Зависимость интенсивности поверхностного разрушения и коэффициента трения от параметров нагрузки (скорости, скольжения, нагрузки, температуры, свойств среды) содержит участок минимального трения и износа. В зависимости от свойств покрытий и среды изменяются только диапазон и уровень минимального трения и износа. Этот диапазон обусловлен возникновением устойчивых диссипативных вторичных структур, экранируют исходный материал от механической и физико-химической деструкции, и их устойчивость связана с динамическим равновесием и саморегулированием активирующих процессов и процессов пассивирования.

Однако при смещении динамического равновесия в сторону деструктивных активирующих процессов за счет увеличения в контактной зоне действующих нагрузок имеет место разрушения вторичных структур. Таким образом, рассматривая износ как результат структурных изменений, считаем, что развитие процессов поверхностного разрушения зависит от действующего фактора нагрузки - удельной силы трения. Это согласуется представлением о том, что линии скольжения, которые образуются дислокациями и заблокированы на поверхности раздела между основным материалом и слоем вторичных структур, создают концентрацию напряжений, при достижении критической величины приводит к появлению трещин и разрушения. Другими словами, скорость скольжения (i) или интенсивность линейного износа (I_h) определяется уровнем действующей в зоне контакта удельной силы трения (μ), и эти функции, то есть $i = i(\mu)$ или $I_h = I_h(\mu)$, при неизменных внешних условиях

однозначно характеризуют износ. Итак, положения о функциональной связи скорости (i) или интенсивности (I_h) линейного износа действующей на поверхности трения удельной силой трения (μ) и результаты экспериментальных исследований износа позволяют составить для описания кинетики процесса срабатывания покрытий систему дифференциальных уравнений:

$$\frac{dh_1(\alpha, \beta, L)}{dL} H_1(\mu) = 1 \quad (2.3)$$

$$\frac{dh_2(\alpha, \beta, L)}{dL} H_2(\mu) = 1 \quad (2.4)$$

где: $(\alpha, \beta) \in L, h_1=h_2=0$ при $L=0$;

$H_1(\mu), H_2(\mu)$ -характерные функции износостойкости материалов покрытий;

$$\mu = \mu [\alpha, \beta, L, h_k(\alpha, \beta, L)].$$

Систему можно представить как:

$$\frac{dh_k(\alpha\beta L)}{dL} = H_k^{-1}(\mu), k = 1, 2 \quad (2.5)$$

С учетом фактора износа, который был введен И.В. Крагельским, следует:

$$I_{hk}(\alpha, \beta, L) = H_k^{-1}(\mu) \quad (2.6)$$

С учетом соотношения между интенсивностью износа и скоростью износа, зависимость принимает вид:

$$\frac{1}{V} \frac{dh_k(\alpha, \beta, t)}{dt} = H_k^{-1}(\mu) \quad (2.7)$$

Поскольку $I_h = H^{-1}(\mu)$, то графическая зависимость $H(\mu) \sim \mu$ є S-подобная кривая, для которой характерно наличие трех участков, по аналогии с диаграммой износостойкости. Вследствие принятого определения I_h является характеристикой износа, и естественно, что обратная ее характеристика - износостойкость, и чем выше значение $H(\mu)$ покрытий, тем выше износостойкость и ниже износа.

Устойчивое проявление структурной приспособленности материалов покрытий при трении соответствует горизонтальному участку кривой $H(\mu) \sim \mu$, что, как отмечалось ранее, для реальных триботехнических систем является наиболее благоприятным режимом эксплуатации. При этом максимальные удельные силы трения достаточно далеки от $\mu^{(b)}$ - их значений, соответствующих предела прочности.

Значения функций износостойкости материалов покрытий для дискретных значений удельных сил трения определяются как:

$$H_k^{(j)}(\mu_j) = \frac{Vt}{h_k^{(j)}(\alpha, \beta, L)} = \frac{L}{h_k^{(j)}(\alpha, \beta, L)} \quad (2.8)$$

где j - степень нагрузки.

Величины линейного износа $h_k^{(j)}(\alpha, \beta, L)$ определяются непосредственным замером образцов или среднеквадратическим износом $M_k^{(j)}$.

При наличии значений характеристических функций износостойкости материалов покрытий их можно аппроксимировать для аналитического исследования и в зависимости от вида графика $H(\mu) \sim \mu$ может быть использовано выражение:

$$H_k(\mu) = A_k \left[\left(\frac{\mu_k^{(B)} - \mu_k^{(0)}}{\mu - \mu_k^{(0)}} \right)^{m_k} - 1 \right] \quad (2.9)$$

и которое учитывает только значение функции в горизонтальной области, соответствует режиму структурной приспособленности:

$$H_k(\mu) = \frac{B_k}{(\mu - \mu_k^{(0)})^{m_k}} \quad (2.10)$$

где $\mu_k^{(0)}$ – пороговые значения μ , при каких $h_k(\alpha, \chi, L) \rightarrow 0$, $A_k, \mu_k^{(B)}, m_k, B_k$ – характеристики износа материалов покрытий.

Введенные характеристики определяются методом наименьших квадратов путем лучшего описания полученных экспериментальных значений $H_k^{(j)}(\mu)$. При наличии экспериментальных точек на полулогарифмических координатах $H(\mu) \sim \mu$, можно визуально определить приближенное значение $\mu_k^{(0)}$, а потом при известном $\mu_k^{(0)}$ достаточно просто подбором B_k, m_k в соответствии с (2.10) наилучшим образом описать результаты эксперимента.

Для определения удельной силы трения предполагаем, что контактное давление $p = p_a$ и μ обусловлены известным законом:

$$\mu[\alpha, \beta, L, h_k(\alpha, \beta, L)] = fp[\alpha, \beta, L, h_k(\alpha, \beta, L)] \quad (2.11)$$

где коэффициент трения устанавливается экспериментально для принятых внешних условий износа и пары материалов.

Износ детали при наличии износа элементов:

$$h_2 = h_1(\alpha, \beta, L) + h_2(\alpha, \beta, L) \quad (2.12)$$

Таким образом, исследование кинетики изнашивания покрытий при изложенных предположениях можно осуществить путем решения совокупности уравнений 2.1-2.9. Для этого необходимо иметь значения характеристик износа материалов, входящих в (2.9) или (2.10), а также коэффициент трения.

Изложенный подход исследований кинетики изнашивания покрытий при трении в отсутствии смазки кроме приведенных соотношений математической модели, включая характерные функции износостойкости, которые для принятых условий является базисным параметром модели, позволяет адекватно описать кинетику процесса. Функции износостойкости интегрально учитывают совокупность всех факторов, реализуемых в процессе износа. Для их экспериментального определения использовали схемы трения, при которых можно достаточно наглядно определить количественные характеристики износа. Выбор схемы испытаний учитывал возможность получения стационарных условиях трения, соответствующие устойчивости кинетических и геометрических параметров. В этом

случае функции $H(\mu)$ обоснованно считаются характеристиками износостойкости. Как указывается в разделах по экспериментальному определению триботехнических зависимостей для данных исследований обоснована и выбрана торцевая схема трения.

Выводы к разделу 2

1. На основе анализа работы плунжерных пар и закономерностей износа выбрано в качестве объекта укрепляя материалы восстановления поверхностей плунжеров детонационно-газовым методом.

2. Рассмотрены и предложены методы нанесения детонационных покрытий и оборудования для использования предложенного метода.

3. Разработана теоретическая математическая модель износа предложенных покрытий при восстановлении плунжерных пар ТНВД.

4. Разработанная технология получения композиционных порошковых материалов для использования в качестве покрытий, как для упрочнения поверхностных слоев, так и для восстановления ремонтных допусков.

Данная модель позволяет управлять свойствами напыляемых материалов в зависимости от индивидуальных характеристик деталей, упрочнения или восстановления.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДЕТОНАЦИОННОЙ ПОКРЫТИЙ

Газотермическое нанесения покрытий является, как известно, многофакторным процессом, специфические условия которого приводят к тому, что покрытие, которые сформировались из порошков при напылённые, отличаются от компактных материалов крайне сложной геометрией структурных составляющих том, что кратковременный процесс напыления вызывает возникновение целого ряда неоднородностей, таких как внутренние границы пяти типов нарушения стехиометрии состава частиц многих фаз, кроме того, имеет место деформирования

частиц, которое сопровождается измельчением периферийных зон, причем количество структурных дефектов, их совместное влияние на характеристики определяется прежде всего физико-химическими свойствами порошков условий нанесения покрытий, при этом определяющим является зависимость прочности и пластичности от толщины покрытий, напыляемых. Кроме того, процессы напыления характеризуются широким диапазоном скоростей охлаждения последовательных потоков частиц, формирующих покрытия, при этом, скорость охлаждения первых осаждающихся слоев, может достигать $10^{-6} - 10^{-8} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$. При этом температурные градиенты вызывают термические напряжения, с одной стороны, сочетаются с напряжениями, вызванные разницей коэффициентов термического расширения, с другой – возникновением напряжений, обусловленных структурными преобразованиями, изменением удельных объемов фаз при полиморфных переходах, диффузией и химическими реакциями, кроме того, скорость охлаждения также является одной из причин структурной неоднородности и возникновения дефектов. Таким образом, поверхностное разрушение покрытий может происходить под влиянием не только напряжений, возникающих в процессе упруго-пластической деформации при трении, но и остаточных напряжений, возникающих в покрытиях в процессе их формирования. В целом, можно предположить, что напыления покрытий связано с реализацией определенного напряженного состояния, которое обуславливает эксплуатационные возможности всей системы трения. Как показывает анализ условий работы деталей машин с покрытиями, потеря работоспособности происходит в основном не из-за несовместимости системы среда-покрытие, а от разрушения покрытий, что проявляется в образовании поверхностных трещин.

При испытаниях покрытий на отрыв величина и распределение остаточных напряжений в значительной степени сказывается на снижении прочности сцепления, а характер разрушения является функцией свойств исследуемого покрытия. Таким образом, уровень остаточных напряжений является важным параметром, который

определяет эксплуатационные возможности покрытий, особенно в условиях экстремального трения.

3.1 Оценка уровня остаточных напряжений и их влияние на износостойкость покрытий

Определение прочности сцепления покрытий, как отмечалось выше, проводили с помощью специальных образцов, которые состояли из втулки и штифта. После предварительной подготовки поверхности (пескоструйной обработки) и самого устройства (детали разобранного устройства обезжириваются) напыляют покрытия. Затем высвобождают фиксирующий винт и отрывают штифт от покрытия. По силе отрыва и площадью торца штифта, определяют прочность сцепления. На рисунке 3.1 показано влияние толщины напыленного слоя на прочность сцепления. В качестве подложки использовалась сталь 45. С ростом толщины покрытия до 0,18-0,20 мкм наблюдается монотонное повышение усилия, которое необходимо для отрыва штифта; после достижения величины 100 МПа дальнейший рост толщины сопровождается уменьшением прочности сцепления.

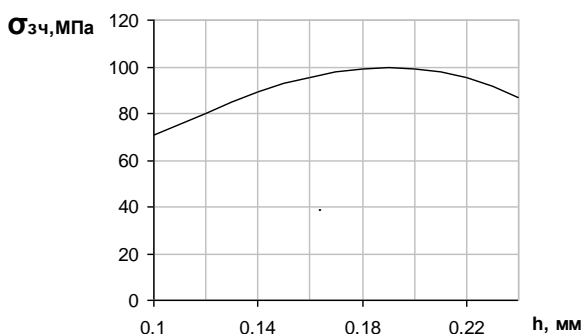


Рисунок 3.1 - Зависимость прочности сцепления от толщины напыляемого покрытия на основе железа.

Причины, которые приводят к наличию максимума на кривой $\sigma_{сц} = f(\delta)$, на наш взгляд, обусловлены тем, что в областях малых толщин имеет место преимущественно когезионное разрушение. Таким образом, значения, полученные при испытаниях, в определенной степени мере отражают не прочность сцепления, а прочность самого покрытия, подтверждая тем самым, что при напылении степень взаимодействия близка к единице.

Малая толщина напыленного слоя (0,1 мкм) вызывает прорыв покрытия, при увеличении толщины прочность сцепления несколько возрастает, но остается незначительной и при испытаниях имеет место деформация напыленного слоя над

штифтом, его выгон и растрескивание. Вследствие роста толщины покрытия происходит подавление этих явлений, что выражается в увеличении прочности сцепления. Дальнейшее увеличение толщины покрытия сопровождается ростом внутренних напряжений в системе покрытие-основа, результатом чего является снижение прочности сцепления; разрушение при этом, как правило, носит адгезионный характер.

Таким образом, работоспособность и долговечность газотермических покрытий зависит от величины и характера распределения остаточных напряжений. Высокие значения остаточных напряжений является причиной появления микротрещин или отслоения покрытий.

Однако, несмотря на формальную ясность основных физических процессов, вызывающих появление остаточных напряжений в напыленных покрытиях, на данный момент, хотя и существует относительно большое количество различных зависимостей, которые позволяют рассчитать остаточные напряжения, использовать их в полной мере невозможно из-за многих введенных предположений, следствием чего является неточность вычислений. Так, например, в научно-исследовательских работах, посвященных характеристикам покрытий, достаточно ограниченные сведения о технологических остаточных напряжениях, раскрывающие качественные зависимости износостойкости, отсутствуют данные о влиянии термической обработки на их величины и распределение.

Одним из достаточно давно разработанных, но плодотворных методов изучения технологических остаточных напряжений является метод Давиденкова М.М., который позволяет определять характер распределения, глубину залегания и величину остаточных напряжений в покрытиях.

Снятие слоев материала происходит с помощью электролитического травления, состав, концентрация и режим подбираются так, чтобы скорость травления составляла 3-5 мкм/мин, при этом напряжение на электродах составляло 10 В, плотность тока 15 А/дм², а температура электролита 25 °С. Состав электролита: 850 см³ фосфорной кислоты с удельным весом 1,56; 150 см³ серной кислоты с удельным весом 1,89, а также 50 г хромового ангидрида.

Непрерывная запись изгиба определялся с помощью индуктивного датчика и передавался на регистрирующий прибор, на котором фиксировалась зависимость изгиба от времени. Наконечник датчика опирался на корундовую пластину-опору диаметром 4 мм и толщиной 1,5 мм.

Остаточные напряжения, как было определено, значительно изменяются в пределах поверхностных слоев. В этом случае для получения надлежащей точности необходимо последовательное удаление очень тонких слоев. Создаваемое этим удалением перераспределение напряжений вызывает перемещение наконечника,

которое фиксируется прибором, позволяет вычислить остаточные напряжения в образцах. Немаловажным является также точное вычисление величин. Непосредственно из эксперимента получается ряд значений стрелы изгибов, f_1, f_2, f_3, \dots , соответствующие различным толщинам слоя, который снимается, $\delta_1, \delta_2, \delta_3 \dots$. По полученным результатам определяется значение функции $f(a)$, ее производной и интеграла в расчетных сечениях.

С математической точки зрения это представляет собой известную задачу теории приближенных вычислений. В работе, для рассматриваемых участков, использован метод параболической аппроксимации.

Величина остаточных напряжений рассчитывалась согласно методам измерения, изложенные в работе, с учетом специфики покрытий.

Если в исследуемом образце (сечением $b \times h$) удаляется слой толщиной δ , то характер изгиба при этом позволяет судить о знаке напряжений.

Такой же изгиб можно получить и без удаления слоя нецентральной сжимающей нагрузкой $P = \sigma \delta b$, выбранной с таким расчетом, чтобы она точно соответствовало значению остаточных напряжений σ в удаленном слое толщиной δ . При нецентрально прикладываемой нагрузке изгибающий момент $M_z = Ph/2 = \sigma \delta b h/2$. Решая приближенное дифференциальное уравнение $E I_z f'' = M_z$, получаем $f = M_z l^2 / 8 E I_z$. Подставляя в это уравнение значение M_z получаем:

$$f_i = \sigma \delta b h l^2 / 8 \cdot 2 E b h^3 = 3 b l^2 \delta / 4 E h^2 \quad (3.1)$$

Решая полученное уравнение относительно σ , получаем:

$$\sigma = (4 E h^2 k / 3 l^2 \delta) \cdot f \quad (3.2)$$

где E – статический модуль упругости, МПа;

l – полурасстояние между осями зажимных винтов крепления образца в подвесках, мм;

k – масштабный коэффициент, равный отношению масштабов записи по оси X, Y , т.е. $k = M_x / M_y$, причем $M_x = V_c / V_t$, где V_c – скорость передвижения ленты самописца, мкм/мин; V_t – скорость травления, мкм/мин.

Продолжительность травления можно определить путем деления проекции записи кривой изгиба образца на ось X.

Таким образом, измерив стрелу изгиба f при удалении слоя толщиной δ , определим напряжение $\sigma_{\text{ост}}$, которое было в снятом слое. Чтобы узнать распределения остаточных напряжений по сечению покрытия, необходимо осуществлять многократное послойное удаление, что влечет за собой необходимость учитывать результат перераспределения нагрузок после снятия каждого слоя.

Знак остаточных напряжений определяется знаком тангенса $(df/d\delta)$ угла наклона касательной, проведенной к записанной кривой изгиба в данной точке. При перемещении пера вправо - «+», то есть напряжение растягивающее, при перемещении пера влево - напряжение сжимающее, а знак «-» (минус). Изгиб образца считается положительным, если направлен в сторону снятого слоя.

Образцы для определения остаточных напряжений имели форму пластин с размерами: толщина 2-3 мм, ширина 10-12 мм и длина 50-60 мм. В исследованиях определялись напряжения I рода – макронапряжения, которые возникают в покрытиях в результате взаимодействия различных технологических факторов при его формировании. Остаточные напряжения первого рода определяются и рентгеновским методом с изменением межплоскостного расстояния Δa :

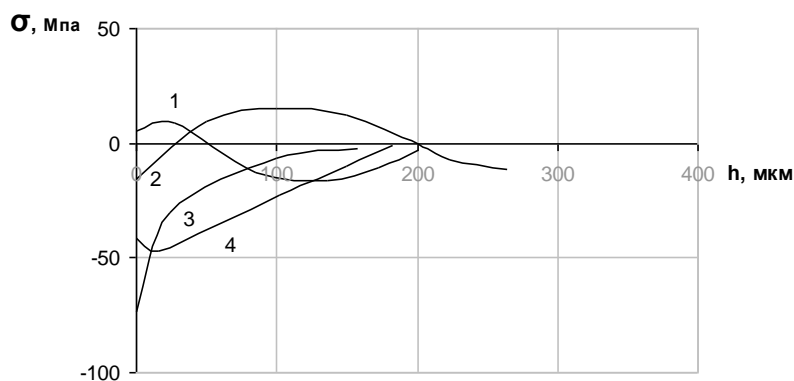
$$\sigma_{\text{ост}} = E \Delta a / a \quad (3.3)$$

При газопламенном и плазменном напылении покрытий частицы, движущиеся с большой скоростью и нагретые до высокой температуры, последовательно наслаиваются сначала на поверхности основания, затем на уже нанесенные значительно остывшие частицы. В процессе детонационного напыления значительного повышения температуры не происходит, поэтому частицы,

охлаждаемые после удара, сжимаются больше, чем металл основы. В результате, при нормальной температуре, в напыленном гетерогенном слое покрытия возникают технологические напряжения, которые в зависимости от ряда факторов могут быть растягивающими, сжимающими или переменными по знаку.

3.2 Распределение технологических остаточных напряжений по толщине покрытий

В результате исследований были определены и проанализированы распределения остаточных напряжений по толщине композиционных покрытий на основе карбидов хрома и вольфрама, оксидов алюминия, никеля и железа. Согласно методике испытаний для построения одной кривой распределения напряжений по глубине покрытия исследовалось несколько образцов, так как разброс данных внутри одной партии в значительной мере зависит от напыляемых материалов. Наименьший разброс при испытаниях имели образцы с композиционным покрытием на основе карбидов, а наибольший разброс внутри партии соответствовал покрытиям на основе никеля и железа. Вполне естественно предположить, что меньший разброс напряжений внутри партии покрытий на основе карбидов обусловлен протеканием активных диффузных процессов в этой композиции, что подтверждается результатами структурных и фазовых исследований. Соответственно для композиций на основе никеля и железа наоборот, их материалы более чувствительны к технологическим параметрам напыления. На рисунке 3.2 приведены результаты распределения напряжений по толщине покрытий осредненные по партии. Как показали исследования, характер распределения напряжений по толщине существенно зависит от материалов: в одних преобладают напряжения сжатия, в других - растяжение со значительным сближением, в абсолютных значениях. Наиболее благоприятным исследованием напряжений с точки зрения эксплуатационных свойств имеют карбидные покрытия (кривая 3), на поверхности которых существуют напряжения сжатия величиной до 75 МПа, монотонно убывающие по толщине, и при глубине около 150 мкм приближаются к нулю.



1 – на основе Al_2O_3 ; 2 – на основе композиции $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$; 3 – на основе Cr_3C_2 ;
4 – на основе $\text{WC} - \text{Co}$.

Рисунок 3.2 - Распределение остаточных напряжений по глубине покрытий

В покрытии на основе карбида вольфрама (кривая 4) также наблюдаются напряжения, однако по величине они почти в два раза меньше, и приближаются к нулю на глубине около 200 мкм.

В покрытии на основе оксида алюминия (кривая 1) напряжения незначительны, что, наверное, обусловлено отсутствием активных термодиффузионных процессов, которые приводят к изменению объема напыляемого материала.

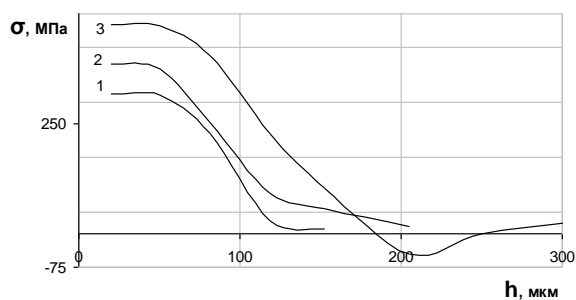
В покрытии на основе композиции $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$ (кривая 2) обнаружены растягивающие напряжения, на поверхности достигающие значения до 15 МПа, и на глубине до 150 мкм переходящие в сжимающие. Формирования твердых растворов позволяет значительно релаксировать напряжения, возникающие вследствие термических градиентов, что было показано структурными и фазовыми исследованиями.

Кроме того, необходимо отметить, что общий характер распределения напряжений в данных покрытиях достаточно однотипный, то есть существуют некоторые остаточные напряжения на поверхности покрытий, которые убывают по глубине. Это связано с тем, что в процессе напыления прилегающие к подложке слои подвергаются более длительному термическому воздействию, которое позволяет полностью релаксировать, или значительно уменьшить напряжения,

возникающие вследствие термических градиентов, а также структурных и фазовых превращений в материалах.

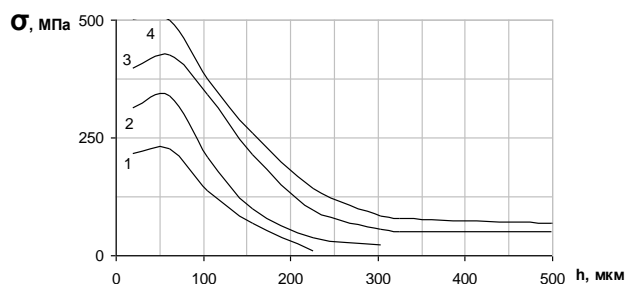
Для газотермических покрытий на основе железа и никеля зависимости остаточных напряжений имеют качественно иные распределения по глубине от поверхности, характеризующиеся высокими растягивающими значениями. Вследствие образования новых структурных фаз, которые отличаются удельными объемами, что и приводит к возникновению напряженного состояния областей, занятых новообразованными фазами и фазами, с ними сталкивающимися. Напряжения, возникающие в результате изменения объемов фаз, градиентов концентрации диффундирующего элемента, могут также достигать величин, при которых появляются пластические деформации или трещины. Следует отметить, что в большинстве случаев эксплуатации следует стремиться к напряжениям сжатия в покрытиях как наиболее безопасным.

На рисунке 3.3 приведены графики распределения остаточных напряжений покрытий на основе железа. Максимум остаточных напряжений немного смещен от поверхности вглубь покрытия. С увеличением толщины покрытия величина остаточных напряжений возрастает. С увеличением глубины залегания остаточных напряжений их величины уменьшаются. Образцы, напыленные композиционным порошком на основе никеля, также исследовались в зависимости от толщины покрытий, которая составляла 200, 300, 400 и 500 мкм. Испытания этой партии образцов показало, что в образцах при всех толщинах покрытий наблюдаются растягивающие остаточные напряжения (рисунок 3.4). Как следует из графиков характера распределения остаточных напряжений, максимум их находится на некотором расстоянии (40-80 мкм) от поверхности. С увеличением глубины их залегания, после максимума, резко падает. Вблизи основания образца величина напряжений приходит к нулю. Глубина залегания, в основном, соответствует толщине покрытия.



1 – 100 мкм; 2 – 200 мкм; 3 – 300 мкм.

Рисунок 3.3 - Распределение остаточных напряжений в покрытиях на основе железа в зависимости от толщины



1 – 100 мкм; 2 – 200 мкм; 3 – 300 мкм; 4 – 500 мкм

Рисунок 3.4 – Распределение остаточных напряжений в покрытиях на основе никеля в зависимости от их толщины

Таким образом, величина остаточных напряжений значительно возрастает при увеличении толщины покрытий, напыляемых. Классическим термическим методом уменьшения остаточных напряжений является отжиг.

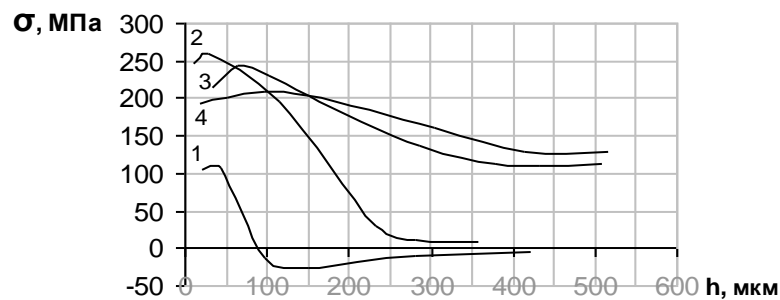
3.3 Влияние отжига на величину и распределение остаточных напряжений в покрытиях

Одной из наиболее доступных и эффективных в условиях производства технологических операций для снятия остаточных напряжений является термическая обработка - отжиг, в результате которого изменяются величина и характер распределения остаточных напряжений. Изменение в распределении тем заметнее, чем выше температура отжига. Отжиг образцов, из партии, что исследовалось, проводился при температуре 300°, 400° и 600 °С.

Характер распределения остаточных напряжений в покрытиях на основе никеля после отжига при температуре 300 °С приведен на рисунке 3.5. Величина

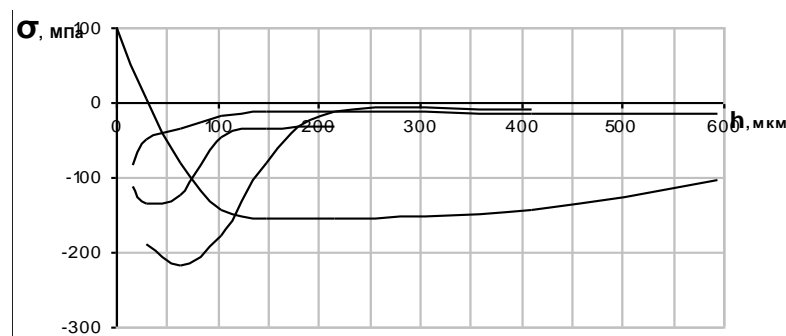
напряжений заметно уменьшилась, особенно резко уменьшаются напряжения в покрытиях больших толщин. Кроме того, в покрытиях малых толщин с увеличением глубины залегания растягивающие остаточные переходят в сжимающие. Глубина залегания остаточных напряжений также в основном соответствует толщине покрытия.

Характер распределения остаточных напряжений после отжига при температуре 400 °С меняется еще больше (рисунок 3.6). В этом случае величина напряжений продолжает уменьшаться и при толщинах покрытий менее 0,5 мм они переходят в сжимающие. Величина сжимающих напряжений тем больше, чем меньше толщина покрытия. С увеличением глубины залегания, величины напряжений уменьшаются и вблизи поверхности исчезают.



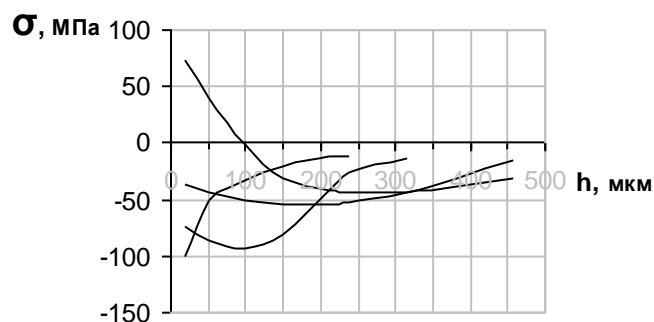
1 – 200 мкм; 2 – 300 мкм; 3 – 400 мкм, 4 – 500 мкм.

Рисунок 3.5 – Распределение напряжений после отжига при температуре 300 °С



1 – 200 мкм; 2 – 300 мкм; 3 – 400 мкм, 4 – 500 мкм.

Рисунок 3.6 – Распределение напряжений после отжига при температуре 400 °С



1 – 200 мкм; 2 – 300 мкм; 3 – 400 мкм, 4 – 500 мкм.

Рисунок 3.7 – Распределение напряжений после отжига при температуре 600 °С

Повышение температуры отжига до 600 °С приводит к дальнейшему перераспределению остаточных напряжений в сторону уменьшения их абсолютной величины. Это показано на рисунке 3.7. Уменьшились растягивающие остаточные напряжения при больших толщинах, уменьшились почти вдвое сжимающие напряжения. Таким образом, при этой температуре отжига величина напряжений по сравнению с образцами, не подверженных отжигу, гораздо ниже.

Знак остаточных напряжений в значительной степени зависит от сочетания коэффициентов термического расширения материалов основы и покрытия. Когда коэффициент термического расширения напыляемого материала равен или больше коэффициента термического расширения основы, в покрытии возникают сжимающие остаточные напряжения. При напылении покрытия на основе железа на образец из углеродистой стали 45 разница в коэффициентах термического расширения незначительна. Чем тоньше слой покрытия, тем меньше разница в соседних слоях покрытия и основания. Следовательно, с увеличением толщины слоя напыления, будет, в основном, проявляться разница в коэффициентах термического расширения, в размерах нагретых и охлажденных частиц и в уже напыленных значительно остывших слоях. Поэтому с увеличением толщины покрытия остаточные напряжения возрастают.

Таким образом, термическая обработка образцов при различных температурах приводит к перераспределению остаточных напряжений. С увеличением

температуры характер распределения остаточных напряжений меняется. Наблюдается заметное уменьшение остаточных напряжений сначала в более толстых покрытиях, а затем и в более тонких покрытиях, когда напряжение с растягивающих переходит в сжимающую.

Как правило, являясь важной характеристикой состояния поверхностных слоев деталей машин, внутренние напряжения растяжения снижают временное сопротивление, а напряжение сжатия увеличивают прочность на усталость. Таким же образом внутренние напряжения значительно влияют на предел выносливости.

Таким образом, на основе проведенных испытаний можно сделать вывод, что в поверхностных слоях, напыленных газотермическими методами и подвергнутых термической обработке возникают остаточные напряжения, которые по своей абсолютной величине безопасны для покрытий с точки зрения их качества и эксплуатационной надежности.

Оптимальная толщина покрытий соответствующая максимальной износостойкости, составляет 180-250 мкм.

Одним из современных и перспективных методов воздействия на уровень и распределение остаточных напряжений является использование технологий на основе лазерного излучения.

3.4 Термическая обработка газотермических покрытий высококонцентрированными потоками энергии

Одним из видов обработки и повышения износостойкости деталей, работающих в условиях трения, есть методы термической обработки с использованием в качестве источника тепла высококонцентрированных потоков энергии, что позволяет реализовать эффекты модификации структуры и свойств поверхностных слоев. Наибольший интерес представляют предельные неравновесные состояния, которые достигаются при значительных скоростях охлаждения, на рентгенограммах таких материалов наблюдается один интенсивный пик или размытое кольцо, а изображение, получаемое в электронном микроскопе

(при увеличении Х600 и более), не проявляет зернистую структуру. Формирования в металлических материалах аморфной структуры возможно при протекании фазовых превращений в условиях, подавляют зарождения и роста кристаллических фаз.

Важный класс аморфных структур представляют материалы на основе легкоплавких элементов и соединений на базе Al, Ge, Pb, Sn, Cu, а также РЗМ. Аморфная структура сплавов более тугоплавких элементов – Ni, Pb, Co, Fe, Mn, Zn, Cr, Cu – образуется при добавлении неметаллов и полуметаллов – C, P, Si, B, N, Ge, As.

Композиция аморфных сплавов из таких металлов соответствует формуле $T_{80}M_{20}$, где Т – один или несколько переходных элементов; М – один или более металлов, введение которых необходимо для стабильности аморфной структуры.

В качестве газотермических покрытий, свойства которых были исследованы после лазерной обработки и оплавления, испытанные покрытия на основе железа Fe-Cr-Si-B-C, которые имеют высокую поверхностную прочность и износостойкость, а также другие модельные композиции на основе железа. Покрытие напылялось на подложку из стали 45 и подвергалось облучению непрерывным лазером ЛГН-702 и импульсным лазером Квант-15.

Анализ микроструктуры покрытий на железной основе, легированной Ni, Cr, Al и B, показал, что в исходном состоянии представляет собой твердый раствор с ГЦК-решеткой на основе железа, основной боридной фазой является сложный борокарбид $(Fe, Cr)_3(B, C)$ с орторомбической структурой типа цементит, содержание которого достигает около 40 %. Наряду с борокарбидом никеля обнаружены бориды хрома, однако содержание их небольшое (до 7 %), но по глубине напыленного слоя эта фаза распределяется равномерно. Карбидная фаза в покрытиях, которые исследовались, представляет собой кубический карбид хрома $Cr_{23}C_6$ и тригональной типа Cr_7C_3 , общее содержание карбидной фазы достигает 20 %, кроме того формируется карбидная эвтектика, наверное, на базе высокохромистых карбида $Cr_{23}C_6$.

Изменения структуры и состояния покрытий достигаются обработкой сфокусированным лучом, сканирующим по поверхности и обеспечивающим локальное плавление очень тонкого слоя с последующим затвердеванием и образованием на поверхности метастабильных соединений и аморфных структур.

Из результатов эксперимента видно, что обеспечение локального нагрева очень тонкого слоя обуславливает дальнейшее перераспределение остаточных напряжений при значительном уменьшении их абсолютных величин. При этом знак остаточных напряжений, величина и характер их распределения зависит от многих факторов, значительно затрудняет их прогнозирования без тщательных испытаний.

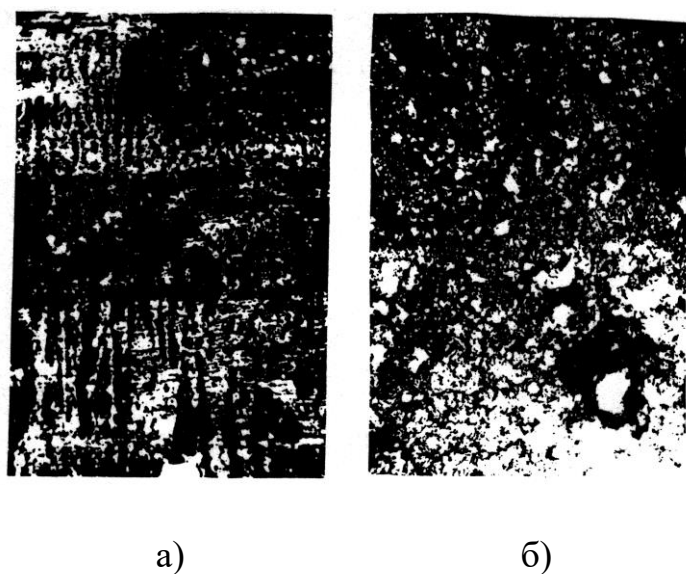
Относительно влияния коэффициента термического расширения отметим: если коэффициент термического расширения материала покрытия и переходной зоны меньше основной материал, то в покрытиях возникают остаточные напряжения сжатия, если больше - растяжение.

По нашему мнению аналогичная зависимость должна иметь место и при разнице в удельных объемах материала детали и напыляемого покрытия. Однако подобная оценка знака и качественного характера распределения остаточных напряжений в композите покрытие-основной материал весьма приближенная и спрогнозировать это без проведения экспериментальных испытаний довольно трудно.

Было проведено микроструктурных анализ структур, образовались. Так, при обработке напыленного слоя облучением непрерывного лазера образуется беспористая структура, состоящая по мере удаления от поверхности из трех характерных зон, отличающихся размером и формой карбидных и боридных колоний, между которыми распределены слои γ - твердого раствора (рисунок 3.9, а).

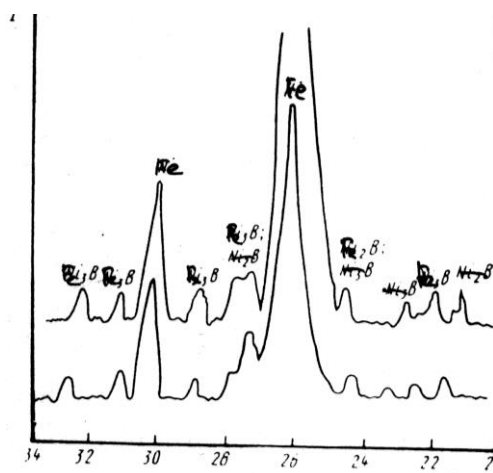
Оплавления напыленного покрытия облучением импульсного лазера (Рисунок 3.9, б) также способствует образованию зонной структуры, но более мелкодисперсный, основной объем занимают распределены в матрице дисперсные карбидные включения, форма которых обусловлена мгновенной кристаллизацией.

Такая структура образуется в результате высокой скорости охлаждения, которая резко ограничивает рост карбидных включений, кроме того, лазерное оплавление приводит к изменению фазового состава, так на рентгенограммах появляются линии боридов железа (рисунок 3.10), увеличивает параметр решетки твердого раствора ($a = 0,3550$ и $0,3570$ нм при оплавлении непрерывным и импульсным лазерным излучением соответственно). Такие изменения обусловлены значительным пресыщением решетки железа атомами легирующих элементов за счет локализации энерговыведения в тонком поверхностном слое.



а) - непрерывным лазером; б) - импульсным лазером.

Рисунок 3.9 – Микроструктура покрытий на основе железа по глубине от поверхности после облучения



а - после оплавления непрерывным лазерным излучением; б - после импульсного излучения

Рисунок 3.10 - Рентгенограмма фазового состава поверхности покрытий на основе железа

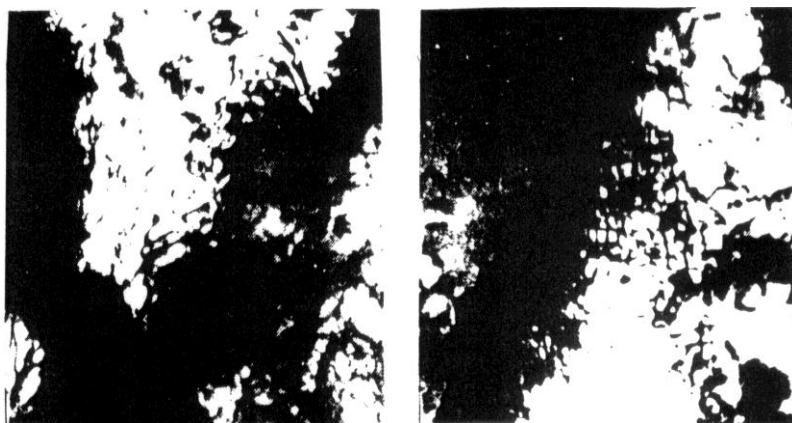
Структурное изменение в зоне лазерного воздействия происходит в условиях высокой температуры и сильного ударного импульса по режиму: плотность мощности излучения 6×10^4 Вт/см², энергия импульса 18 Дж, время влияния 10^{-3} с. Кратковременность такого мощного влияния аналогичная тепловому удару, в результате которого развиваются очень большие давления, приводят к деформации, которая оказывается в крайне малое время ударного сжатия. При давлении ударного сжатия напряжение превращают предел текучести, что обуславливает развитие дефектов кристаллического строения, на взаимодействие которых также значительно влияет высокая энергия лазерного излучения. То есть, при лазерной обработке образуется и сохраняется значительная концентрация неравновесных дефектов.

Покрытие влияет на процессы упрочнения и разукрепления в силу своего структурного состояния и состава. Разукрепление можно объяснить ростом напряжений в контакте, что приводит к растрескиванию покрытий. При этом

микротрещины, которые образовались, являются концентраторами напряжений, где и начинается рост магистральной трещины, которая и приводит к разрушению.

В целом можно предположить, что формирование покрытия, а также контактной зоны, включающей межфазную зону и приповерхностные слои детали, способствуют реализации того или иного напряженного состояния, которое обуславливает дальнейшие возможности трибосистемы. Следствием действия многих факторов на напряженное состояние в условиях трения материалов является или укрепление или разукрепление. Иными словами, в основе воздействия на поверхностные характеристики лежит эффект воздействия на выход дислокаций.

Исследование тонкой структуры покрытий на основе железа в электронном микроскопе показало, что в зоне лазерного воздействия является участки с дислокационными скоплениями (рисунок 3.11) и развитой ячейковой субструктуры (рисунок 3.11 б). Образование в процессе действия лазера ячейковой субструктуры свидетельствует о значительной пластической деформации. Для покрытий на основе железа характерно наличие участков сплетения и плоских скоплений дислокаций (рис 3.12), есть зоны с ячейковой субструктурой. Кроме того, обработка лазером привела к измельчению блоков почти в три раза (от 61×10^{-5} до $19,5 \times 10^{-5}$ см), что свидетельствует о наличии микроискривлений в кристаллических образцах твердого раствора. Рентгеновские исследования показали, что в зоне действия лазера возникла слабо развитая кристаллографическая текстура, то есть часть зерен ориентирована плоскостью параллельно поверхности образца.



а)

б)

Рисунок 3.11 - Дислокационная субструктура покрытий на основе железа после обработки лазером (x20000)

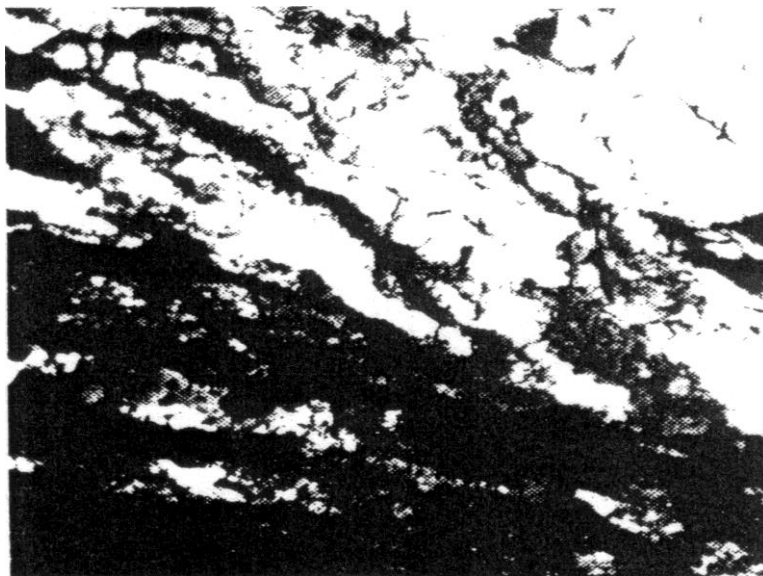


Рисунок 3.12 - Дислокационная субструктура покрытий на основе железа после обработки лазером (x40000).

Таблица 3.2 – Характеристики порошковых материалов до и после обработки лазером

материал	плотность дислокаций, см^{-2}		Интенсивность износа $\text{мм}^3/1000\text{м} \cdot \text{см}^2$; $V=0,5 \text{ м/с}$; $P=10 \text{ МПа}$			
	до обработки лазером	после обработки лазером	<i>до обработки</i>		<i>после обработки</i>	
			без смазки	со смазкой	без смазки	со смазкой

Плазменное покрытие на основе Fe	$4,6 \times 10^9$	$8,2 \times 10^{10}$	-	0,4	-	0,15
Газотермическое покрытие на основе Fe	$5,2 \times 10^{10}$	$3,6 \times 10^9$	25,0	0,3	14,0	0,20
Детонационное покрытие на основе Fe	$2,7 \times 10^{10}$	$4,1 \times 10^9$	18,0	0,4	20,0	0,25

Как следует из экспериментальных данных, обобщенных в таблице 3.2, после обработки лазером плазменных и газотермических покрытий их сопротивление износу повышается. Это объясняется значительными структурными и фазовыми изменениями поверхностного слоя при резком снижении остаточных напряжений в процессе лазерного облучения и формировании износостойкой мелко дисперсной почти беспористой структуры. Таким образом, для газотермических покрытий, имеющих значительную исходную пористость, проведение обработки лазером обеспечивает устранение остаточной пористости и существенное повышение поверхностной прочности и износостойкости. Для детонационных покрытий, имеющих пористость порядка 0,5-1,0 % лазерная технология, как метод повышения их триботехнических характеристик, не всегда является экономически оправданной.

3.5 Особенности строения и износостойкость аморфных и микрокристаллических детонационных покрытий

С точки зрения практического использования в узлах трения, значительные возможности имеют газотермические покрытия с аморфной структурой. При испытаниях аморфизованных покрытий близкого состава, нанесенных различными методами напыления, в работе установлено, что наиболее высокой устойчивостью к износу имеют детонационные покрытия.

Как известно, при детонационно-газовом напылении скорость охлаждения ($\approx 10^6$ К/с) является достаточным для закалки из жидкой фазы с образованием аморфной структуры, поэтому вполне закономерно, что детонационные покрытия, нанесенные определенными составами, имеют аморфное строение по всему объему при толщине 1-2 мм.

В некоторых работах на основе теоретического анализа сформированы технологические факторы, определяющие возможность получения аморфизованных покрытий. Результаты исследований позволили сформулировать физические основы формирования аморфизованных покрытий, а также выбора оптимальных технологических параметров и предложить критерии, на основе которых определяют возможность образования аморфных фаз в деформируемых композициях. Так, аморфные состояния формируются в системах, для соединений которых или число атомов в элементарной ячейке больше 20 или гомологическая температура смеси меньше 0,25. Иными словами, к аморфизации склонны металлические системы, в которых соединения плавятся конгруэнтно и имеют узкую область гомогенности, однако номенклатура материалов для детонационного напыления, что удовлетворяет требованиям, ограничено. Главным образом это сплавы эвтектического состава на основе железа или никеля, которые в аморфном состоянии имеют высокую прочность, пластичность, износостойкость.

Систематические исследования износостойкости покрытий, имеющих аморфную структуру, в технической литературе отсутствуют, закономерности их срабатывания в различных условиях трения не установлены, важным остается определение их термической стабильности, повышение которой является актуальной задачей современного трибологического материаловедения аморфных сплавов.

В работе на основе результатов триботехнических испытаний установлено, что аморфные детонационные покрытия из эвтектических сплавов на основе железа и никеля типа Fe-Cr-B-C, Fe-Ti-B-C, Ni-Fe-Cr-Mo-B, Ni-Fe-Cr-B по износостойкости в условиях граничного трения и при отсутствии смазки существенно превосходят

конструкционные и инструментальные стали после химико-термической обработки и не уступают детонационным покрытиям из твердых сплавов типа ВК.

Оптимальные триботехнические характеристики можно достичь в случае аморфно-кристаллической структуры покрытий.

В таблице 3.3 приведены результаты исследований структуры и механических свойств аморфных детонационных покрытий на основе железа, содержащие дисперсные частицы кристаллического тугоплавкого карбида титана.

Были проведены испытания по методике, которая заключается в определении предела текучести σ_T по углу остаточного изгиба плоских образцов с напыленным покрытием. В соответствии с представлениями о том, что аморфные сплавы представляют собой, прежде всего, идеальные упруго-пластические материалы которым не свойственно деформационное упрочнение, то значение σ_T не должны зависеть от расстояния между выгибая пластинами.

Таблица 5.3 - Структура и механические свойства аморфных покрытий на основе железа

Атомная доля элементов, %						E, Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	m	HV
Fe	Ni	Cr	B	Ti	C				
70	-	15	15	-	-	170300	2970	1,61	1280
60	10	15	15	-	-	169600	3150	2,23	960
50	20	15	15	-	-	173700	3290	1,67	910
68	-	15	15	1	1	177600	3560	2,10	1560
66	-	15	15	2	2	191600	3780	3,74	1730

Однако установлено, что для исследуемых покрытий, данные характеристики связаны между собой линейной зависимостью, свидетельствует о наличии

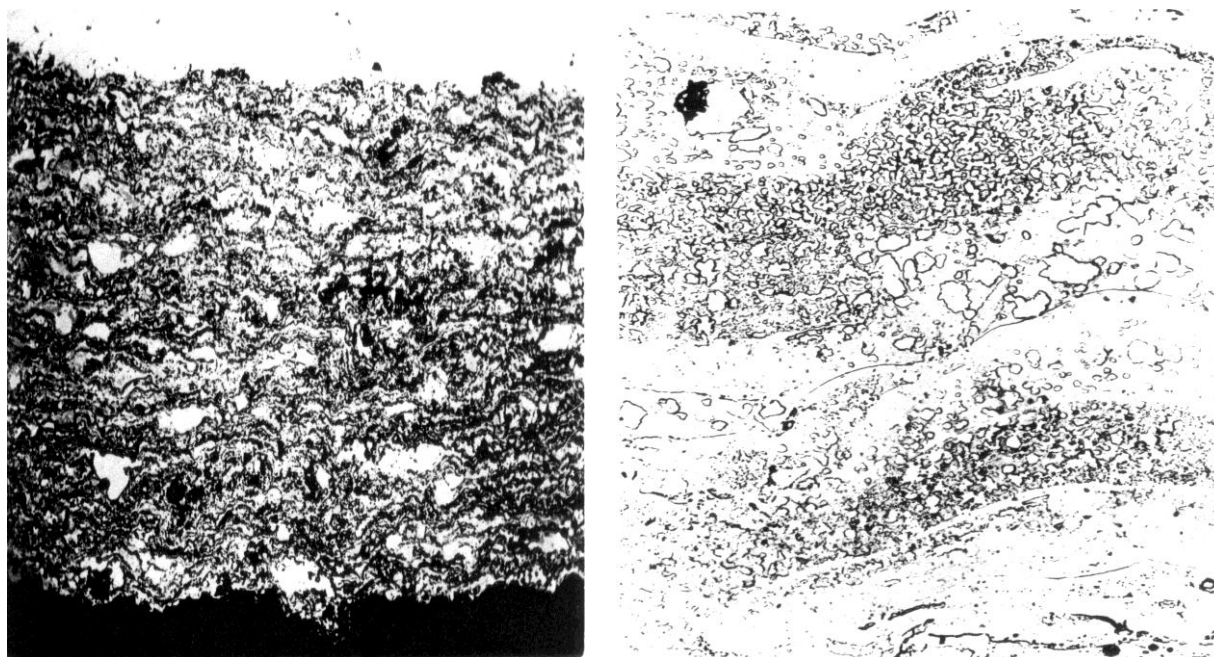
деформационного упрочнения. степень упрочнения (m) определялась по формуле $m = d\sigma/d\varepsilon$. В случае линейной зависимости для аморфных материалов $m < 2,5$, то есть, прирост σ_T не должен превышать 2,5 % при увеличении степени пластической деформации на 1 %. В таблице 3.3 приведены значения m , которые рассчитаны для исследуемых покрытий.

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что твердость покрытий при увеличении содержания никеля снижается, а титана (одновременно с углеродом) - резко возрастает по закону, близкому к линейному. При этом, введение до 20 % Ni повышает значение σ_T до 3290 Н/мм², а примеси титана и углерода еще больше повышают σ_T (до 3780 Н/мм²), модуль Юнга и коэффициент деформационного упрочнения также растут. В покрытие, которое содержит 2 % Ti и 2 % C, они превышают предельные значения, полученные для аморфных сплавов ($E = 180000$ Н/мм² та $m = 2,5$), что подтверждает присутствие в структуре кристаллической фазы. Наличие карбидной фазы способствует существенному росту модуля Юнга, причем зависимость этой характеристики от объемной доли карбидной фазы имеют линейный характер. Предел текучести также растет с ростом объемной доли частиц карбидной фазы в соответствии с правилом аддитивного сложения модулей Юнга структурных составляющих.

Исследования на световом и электронном микроскопах показали, что в структуре покрытий, легированных титаном и углеродом, имеют место доли кристаллической карбидной фазы, размеры которых колеблются в пределах 1-5 мкм, кроме того, установлено, что частицы, которые расположены в аморфной матрице, имеют кристаллические решетки, которые соответствуют карбиду титана с параметром $a = 0,42$ нм.

Анализ результатов исследований покрытий (рисунок 3.13) в структуре которых аморфные и кристаллические фазы, позволяет сделать вывод о том, что аморфно-кристаллическая композиция при оптимальном сочетании объемной доли,

структуры и морфологии ее составляющих имеет более высокую поверхностную прочность и износостойкость, чем кристаллические и аморфные материалы.



а)

б)

Рисунок 3.13 - Структура детонационных покрытий: а) x120; б) x5000 .

Таким образом, одновременное введение в напыляемые, оптимального (~2 %) эквивалентного количества Ti и C обуславливает образование в аморфной матрице дисперсных частиц карбида титана, существенно повышает модуль Юнга и предел текучести без снижения пластичности и термической стабильности, и позволяет при проведении испытаний получить информацию, которую в виде обратной связи можно использовать для введения изменений в составе и технологии покрытий с целью повышения поверхностной прочности и износостойкости. Итак, легирования элементами, такими как Ti, W, Cr, Nb, Mo, V, Zr, которые образуют тугоплавкие соединения, позволяет влиять на структуру покрытий, их химический состав и механические свойства в нужном направлении, то есть является одним из принципиальных способов управления трением и износом аморфно-кристаллических детонационных покрытий.

Выводы к разделу 3

1. Экспериментальные исследования качества покрытий показали, что поверхностное разрушение покрытий может происходить под влиянием не только напряжений, возникающих в процессе упругопластической деформации при трении, но и остаточных напряжений, возникающих в покрытиях в процессе их формирования. Выполненный в данном разделе анализ существующих и перспективных методов повышения эксплуатационных свойств покрытий, работающих в условиях трения позволяет сделать следующие выводы:

2. Легирование покрытий элементами, которые образуют тугоплавкие соединения, позволяет влиять на структуру покрытий, их химический состав и механические свойства в нужном направлении.

3. Аморфные детонационные покрытия из эвтектических сплавов на основе железа типа Fe-Cr-B-C по износостойкости в условиях граничного трения и при отсутствии смазки существенно преобладают конструкционные и инструментальные стали после химико-термической обработки и не уступают детонационным покрытиям из твердых сплавов типа ВК.

4. Как показали исследования детонационные покрытия на основе железа могут быть использованы при восстановлении изношенных деталей ТРА с ресурсом даже больше, чем ресурс новых изделий.

4 ОХРАНА ТРУДА

4.1 Общие положения

Охрана труда - это комплекс мероприятий по санитарно-техническому, гигиеническому, пожарного надзора, направленных на урегулирование вопросов по безопасности жизнедеятельности работников, предприятий всех отраслей промышленности.

Основным регламентирующим документом по охране труда является Конституция Украины и Кодекс Законов по Охране Труда.

В это время в авиационной промышленности при выполнении текущего ремонта и ТО ВС, двигателей и систем самолета в целом, контроль за соблюдением условий безопасности жизнедеятельности проводится на основании «Правил безопасности труда при техническом обслуживании и ремонте авиационной техники» НПАОП 63.23-1.0-98 (далее - правила), которые изложены в «Государственном отраслевом нормативном акте об охране труда». Действие этих правил распространяется на все предприятия, объединения, организации и авиакомпании независимо от ведомственной принадлежности и формы собственности.

Каждый вид работ, которые выполняются в АО, имеет свои опасные факторы. В данной части дипломной работы указаны лишь некоторые из них и методы предотвращения появления таковых при ТО ВС.

Основные нормативы и положения охраны труда в производственной, научной, исследовательской сферах регламентируются и оговариваются «ЗАКОНОМ УКРАИНЫ ОБ ОХРАНЕ ТРУДА» от 14 октября 1992 года № 2694-ХП (ВПр 1992, № 49, ст. 668) с изменениями и дополнениями, внесенными Законами Украины от 15 мая 1996 года № 196/96-ВР, который определяет основные положения по реализации конституционного права граждан на охрану их жизни и здоровья в процессе трудовой деятельности, регулирует при участии соответствующих государственных органов отношения между собственником предприятия, учреждения и организации или уполномоченным им органом (далее - собственник) и работником по вопросам безопасности, гигиены труда и производственной среды и устанавливает единый порядок организации охраны труда в Украине.

4.2 Опасные и вредные производственные факторы, действующие при техническом обслуживании системы (НПАОП 63.23 – 1.06 – 98, ГОСТ 12.001 – 74 ССБТ)

При выполнении ТО ВС и топливной системы в частности, на обслуживающий персонал влияют следующие вредные производственные факторы:

1. Воздушные суда, спецтранспорт, самоходные машины и механизмы, движущиеся.

2. Незащищенные подвижные элементы ВС (элероны, закрылки, тормозные щитки, интерцепторы, триммеры, вращающиеся винты, турбины, роторы двигателей и агрегатов, валы трансмиссий, створки капотов двигателей и гондол шасси, реверсивные устройства, тросы и тяги движущихся двери, люки, входные трапы и т.п.), спецавтотранспорта, грузоподъемных механизмов и производственного оборудования.

3. Воздушные суда, обрушивается при вывешивании его на подъемниках или при ошибочном уборке шасси.

4. Изделия АО, инструмент и материалы, падают при работах по ТО ВС на плоскостях, стабилизаторе, фюзеляже и при работе на высоте с применением механизированных подъемников.

5. Ударная волна при взрыве изделий АО, работающих под давлением, или при взрыве паров горючей жидкости.

6. Выступающие части планера ВС и его оборудования - антенны, датчики, приемники воздушного давления и температуры наружного воздуха, подкосы, замки, кронштейны, открытые створки. Выступающие элементы изделий и конструктивных элементов фюзеляжа ВС - ручки, кронштейны, упоры отсеков ВС и т.д.

7. Расположение рабочего места или рабочей зоны на высоте 1,3 м и более.

8. Острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхностях ВС, оборудования и инструмента - на заправочных средствах, заземляющих и соединительных стальных тросах, применяемых для выравнивания потенциалов, на заправочных раздаточных наконечниках, стремянки, лестницам и подставках. Острые концы контрольного проволоки при демонтаже агрегатов.

9. Повышенная скольжения вследствие обледенения, увлажнения и замасливания поверхностей ВС, трапов, стремянок, лестниц и мест стоянок, по которым перемещается персонал.

10. Загромождение рабочих мест и рабочих зон в салонах, багажных, служебных и технических отсеках ВС изделиями АО, приспособлениями, материалами, временными коммуникациями снабжения сжатым воздухом и

электрической энергией.

11. Повышенное напряжение электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, при применении электрифицированного инструмента, приспособлений и агрегатов с электроприводом, питающихся от внешних источников электроэнергии.

12. Повышенная температура:

- поверхностей авиадвигателей, оборудования, электроинструмента,
- поверхностей исполнительных электромеханизмов и электрооборудования;
- поверхностей ВС в условиях высоких температур наружного воздуха и воздействия солнечной радиации;
- поверхностей выхлопных систем самоходных заправочных средств или автономных двигателей привода средств заправки, а также поверхностей заправочных средств в условиях высокой солнечной радиации;
- моющих растворов, струй горячего воздуха для сушки изделий;
- тормозных устройств и других деталей шасси после посадки ВС

18. Пониженная температура поверхностей оборудования при ТО ВС в условиях низких температур.

19. Повышенный уровень шума при работающей насосной станции ВС.

20. Повышенная запыленность воздуха при ТО ВС на аэродромах с грунтовым покрытием.

21. Химические вещества (токсичные, раздражающие, sensibilizing, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную функцию) ГСМ; вредные вещества (ВВ), входящих в состав лакокрасочных материалов; растворители; ядохимикаты во время очистки и мойки ВС при авиа-химических работах; минеральные и синтетические масла и смазки; спецжидкости, проникающих в организм человека.

22. Повышенная температура окружающего воздуха при выполнении работ в условиях высокой солнечной радиации на открытом воздухе и при работах в технических отсеках. Пониженная температура окружающего воздуха при ТО ВС в условиях низких температур.

23. Повышенная или пониженная относительная влажность воздуха.

24. Повышенный уровень ВВ в воздухе рабочей зоны.

25. Отсутствие или недостаток естественного освещения в служебных, технических, багажных отсеках, в пространствах под полом, в нишах опор шасси и в других объемах ВС.

26. Недостаточная освещенность рабочей зоны искусственным светом при ТО ВС в темное время суток.

27. Физические перегрузки (динамические) во время подъема и перемещения демонтированных частей ВС, гидropодъемниках, гидродомкратов, лестниц и стремянок, колес шасси и баллонов со сжатым газом, а также при выполнении работ в неудобном положении в служебных и технических отсеках.

28. Физические перегрузки (статические) при ТО агрегатов в нишах, отсеках фюзеляжа и гондолах шасси.

29. Нервно-психические перегрузки, возникающие в связи с установлением ВС на подъемники и при других работах, связанных с повышенной ответственностью исполнителей.

4.3 Технические и организационные меры по уменьшению уровня воздействия опасных и вредных производственных факторов (НПАОП 63.23 – 1.06 – 98)

На основе перечня выявленных опасных и вредных производственных факторов необходимо разработать конкретные мероприятия, исключающие проявление производственных опасностей и вредных воздействий, или ограничивают их в пределах допустимых норм. При разработке этих мер используют требования Правил устройства электроустановок - ПУЭ - 86, ПТЭ, ПТБ и ГОСТ 12.1. 019-79.

Еще в процессе проектирования конструкции топливной системы было задано первичный уровень надежности, технологичности, живучести, прочности. Агрегаты выполнены с использованием таких авиационных материалов, как сталь, сплавы алюминия, магния и титана, и представляет собой сложную многоэтажную систему.

В конструкции данного объекта мало приборов, нуждающихся в подведении сети, а напряжение подводится к устанавливаемым датчиков достаточно малых значений. Поэтому почти исключается (за исключением насосов с электроприводом) случайный переход напряжения от токоведущих частей к поверхностям, не проводят ток.

К средствам исключаяющих воздействие вредных факторов относятся:

- ☐ средства индивидуальной защиты (одежда для защиты тела, головы, рук и ног, средства для защиты органов дыхания, зрения и слуха)
- ☐ средства для вентиляции и кондиционирования воздуха, они обеспечивают очистку воздуха в рабочей зоне, зависит от концентрации в воздухе вредных токсических веществ;
- ☐ использование универсальных дистанционных манипуляторов, которые позволяют делать разнообразные операции; защиту баллонов под давлением специальными металлическими ограждениями, которые в случае их взрыва защитят от обломков, и наоборот.

Организационные и конструктивно-технологические средства и методы снижения воздействия опасных и вредных факторов:

1. Места стоянок ВС, площадки специального назначения помещения и технические сооружения должны отвечать ВНТП II-85 / МГА (Ведомственные нормы технологического проектирования АТБ в аэропортах), действующим строительным, санитарным и противопожарным нормам и правилам, а также НПАОП 63.23 - 1.06 - 98 .
2. Расположение производственных и вспомогательных зданий, сооружений, площадок специального назначения должно соответствовать ТО и ремонта АО.
3. Производственные и вспомогательные помещения, площадки специального назначения необходимо использовать только по их прямому назначению. Использование их не по прямому назначению разрешается в исключительных случаях по согласованию с территориальными органами государственного надзора.

4. В производственных помещениях и на площадках спецназначения хранения деталей, узлов, агрегатов должно быть организовано в определенных местах на стеллажах.

5. Зоны ТО АО, пребывание и выполнение работ в которых связано с опасностью для работающих, должны быть оборудованы знаками безопасности в соответствии с ГОСТ 12.4.026-76 ССБТ. Цвета сигнальные и знаки безопасности.

6. Места стоянок ВС должны быть расположены на расстоянии не менее 50 м от производственных зданий и сооружений, не менее 25 м - от ангаров и не менее 100 м - от складов горюче-смазочных материалов (ГСМ).

7. Места стоянок ВС должны быть оборудованы в соответствии с Правилами пожарной безопасности в Украине и НПО ГА-85 (Наставление по пожарной охране в гражданской авиации СССР).

8. Места стоянок ВС, в том числе и на грунтовых аэродромах, должны быть оборудованы стационарными заземляющими устройствами для защиты от статического электричества. Сопротивление заземляющих устройств, предназначенных исключительно для защиты от статического электричества, допускается не выше 100 Ом.

9. Размещение средств механизации и спецавтотранспорта, применяемые при ТО ВС, должно соответствовать требованиям Руководства по организации движения ВС, спецавтотранспорта и средств механизации на аэродромах ГА.

10. На местах стоянок ВС запрещается:

а) разливать топливо, масло, гидросмесь и другие легковоспламеняющиеся и горючие жидкости. Случайно разлитые жидкости следует немедленно посыпать песком и убрать;

б) курить вне специально отведенных мест;

в) оставлять без присмотра работающие средства механизации и технологическое оборудование, а также ВС с подключенными аэродромными источниками питания;

г) пользоваться неисправным, замасленным или покрытым льдом аэродромным оборудованием.

В помещениях для ТО АО запрещается работать в производственных помещениях, где выделяются ВВ при неисправной или отключенной вентиляции; рециркуляция воздуха в производственных помещениях, где выделяются пары, газы или может иметь место резкое увеличение концентрации ВВ и взрывоопасных веществ, газа.

Перед пуском в эксплуатацию вновь смонтированных вентиляционных установок, а также после их реконструкции и ремонта они должны пройти наладку и испытания.

4.4 Расчет контурного заземления на стоянке при техническом обслуживании топливной системы ДБНВ.2.5-28-2006

При расчете заземления необходимо определить число вертикальных заземлений и длину соединительной полосы. По данным расчетов величина сопротивления заземления не должна превышать величины установленной «Правилами устройства электрических установок». Величина сопротивления стержневого заземления определяется по формуле:

$$R_0 = \frac{0.366}{l} \cdot \rho \left[\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4h+l}{4h-l} \right] [\text{Ом}], \quad (4.1)$$

где l – длина стержня, м;

d – внешний диаметр стержня, м;

h – глубина заделки, м;

ρ – удельное сопротивление почвы, Ом·м.

Принимаем: $l = 3$ м; $d = 0,05$ м; $h = 2,2$ м ; $\rho = 100$ Ом·м.

Тогда с учетом (4.1) рассчитаем указанную величину сопротивления стержневого заземления.

$$R_0 = \frac{0,366}{3} \cdot 100 \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right] = 27,3 \text{ Ом.}$$

Количество одиночных заземлений рассчитываем по выражению:

$$n = \frac{R_0}{r_n \cdot \eta_o} \text{ [шт]}, \quad (4.2)$$

где r_n – нормирует сопротивление контура заземления, принимаем для электроустановки с ТО ПС $r_n = 4$ Ом.

η_o – коэффициент использования одиночного заземления, принимаем $\eta_o = 0,7$.

Тогда с учетом зависимости (4.2) рассчитываем n :

$$n = \frac{27,3}{4 \cdot 0,7} = 9,75 \text{ шт.},$$

принимаем $n = 10$ штук.

Сопротивление полосы, соединяющей одиночные заземления, определяется по формуле:

$$R_{\text{см}} = \frac{0,366 \cdot \rho}{l_{\text{см}}} \cdot \lg \frac{2 \cdot l \cdot n^2}{b \cdot h_{\text{см}}}, \quad (4.3)$$

где $l_{\text{см}}$ – длина полосы, м;

b – ширина полосы, $b = 0,1$ м;

$h_{\text{см}}$ – глубина заложения полосы, принимаем $h_{\text{см}} = 1$ м;

$$l_{\text{см}} = a \cdot n,$$

где a – расстояние между одиночными заземлениями (принимаем $a = 3$ м);

$$l_{\text{см}} = 3 \cdot 10 = 30 \text{ м.}$$

Как следствие, исходя из зависимости (4.3), получим результат:

$$R_{\text{см}} = \frac{0,366 \cdot 100}{30} \cdot \lg \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^2}{0,1 \cdot 1} = 4,636 \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление заземления определяется по формуле:

$$R_3 = \frac{R_0 \cdot R_{\text{см}}}{R_0 \cdot \eta_{\text{см}} + n \cdot R_{\text{см}} \cdot \eta_o}, \quad (4.4)$$

где $\eta_{\text{см}}$ – коэффициент использования полосы, (находим $\eta_{\text{см}} = 0,35$);

Значение η_o уточняем и принимаем $\eta_o = 0,55$;

В итоге, с учетом вышеприведенного (см. (4.3)), получаем общее сопротивление заземления:

$$R_3 = \frac{27,3 \cdot 4,636}{27,3 \cdot 0,35 + 10 \cdot 4,636 \cdot 0,55} = 3,6 \text{ Ом.}$$

Результаты расчетов показывают, что заземление удовлетворяет требованиям ПУЭ-86, так как: $R_3 < r_n$, то есть $3,6 < 4 \text{ Ом.}$, при этом имеем запас в 9 %.

4.5 Обеспечение пожарной и взрывной безопасности при техническом обслуживании топливной системы (НПАОП 5.1.30-1.06-98)

Пожарная безопасность должна обеспечиваться в соответствии с ГОСТ 12.1.004-98 «Пожарная безопасность», взрывная - ГОСТ 12.1.010-76 «Взрывоопасность. Общие требования ». Согласно требованиям, предотвращения пожара обеспечивается:

- ☐ максимальной механизацией технологических процессов, связанных с работой с горючими веществами;
- ☐ использованием огнестойких материалов при изготовлении кабины экипажа и пассажирских салонов;
- ☐ продувкой отсеков воздухом, обеспечивает охлаждение как двигателя, так и агрегатов, расположенных на нем, а также выдув из отсека гондолы возможные пары топлива, масла;
- ☐ использование электрооборудования в соответствии с пожарных и взрывоопасных зон согласно «Правил устройств электрооборудования»;
- ☐ использование технологических процессов и оборудования, отвечающего требованиям искробезопасности;
- ☐ рациональным расположением на самолете трубопроводов и агрегатов;
- ☐ соблюдением установленных правил пожарной безопасности.

При разработке метода и установке дополнительных датчиков были выбраны трудностгораемые и температуростийкие материалы. Пожарная безопасность веществ и

материалов изложена в ГОСТ 12.1.007 - 91. Пожарная защита обеспечивается с помощью:

- ☐ использованием средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники;
- ☐ использованием автоматических средств пожарной сигнализации и пожаротушения;
- ☐ использованием герметичного оборудования и тары.
- Организационно-технические мероприятия должны включать:
 - ☐ организацию пожарной охраны (в установленном порядке) соответствующего вида (профессиональной, добровольной и т.п.) численности и технической оснащённости;
 - ☐ паспортизацию веществ, материалов, изделий, технологических процессов и объектов в части обеспечения пожарной безопасности (ПБ)
 - ☐ широкое привлечение общественности к вопросам обеспечения ПБ;
 - ☐ организацию обучения рабочих, служащих, колхозников, учащихся и населения правилам ПБ;
 - ☐ разработку и реализацию норм и правил ПБ, инструкций о порядке работы с пожароопасными веществами и материалами, о соблюдении противопожарного режима и о действиях людей при возникновении пожара;
 - ☐ разработку мероприятий по действиям администрации, рабочих, служащих и населения в случае возникновения пожара и организации эвакуации людей;
 - ☐ изготовление и применение средств наглядной агитации по обеспечению ПБ.

Организационные мероприятия по обеспечению взрывобезопасности включают в себя: разработку системы инструктивных материалов наглядной агитации, регламентов и норм ведения технологических процессов, правил обращения с взрывоопасными веществами и материалами; организацию обучения, инструктажа и допуска к работе обслуживающего персонала взрывоопасных производственных процессов; осуществление контроля и надзора за соблюдением

норм технологического режима, правил и норм техники безопасности, промышленной санитарии и ПБ и т.д. Установка в помещениях централизованной системы пожаротушения и пожарных щитов.

Классификация огнетушителей.

Огнетушители разделяют по способу срабатывания:

- ☐ автоматические (самосрабатывающие) - конечно стационарно монтируются в местах возможного воспламенения;
- ☐ ручные (срабатывают с помощью действий человека) - располагаются на специально оформленных стендах;
- ☐ универсальные - содержат в себе преимущества обоих выше сказанных типов.

Огнетушители разделяют по принципу действия на очаг огня:

- ☐ газовые (углекислотные)
- ☐ пенные (химические, химические воздушно-пенные, воздушно-пенные)
- ☐ порошковые;
- ☐ водяные.

По объему корпуса:

- ☐ переносные малолитражные с массой огнетушащего вещества до 4 кг;
- ☐ промышленные переносные малолитражные с массой огнетушащего вещества от 4 кг;
- ☐ стационарные и передвижные с массой огнетушащего вещества от 8 кг.

По способу подачи огнетушащего вещества:

- под давлением газов, которые образуются в результате химической реакции компонентов заряда;
- ☐ под давлением газов, подаваемых из специального баллончика, расположенного в (на) корпусе огнетушителя;
- ☐ под давлением газов, предварительно закачанных в корпус огнетушителя;
- ☐ под собственным давлением огнетушащего вещества.

По типу пусковых устройств:

- □ с вентильным затвором;
- □ с запорно-пусковым устройством рычажного типа;
- □ с пуском от дополнительного источника давления.

Огнетушители маркируются буквами, характеризующими тип и класс огнетушителя, и цифрами, обозначающими массу огнетушащего вещества, которая в нем находится.

С 1985 года на замену огнетушителям типа ОХП поступили огнетушители типа ОВМ (ОВМ-2, -5, -10). Эти водные мелкодисперсные огнетушители являются универсальными и успешно используются для подавления локальных очагов пожара классов А, В, С, то есть типичных для жилых и производственных помещений аэропорта, транспорта и других аналогичных объектов. При этом заряд огнетушителей соответствует экологическим требованиям.

Огнетушители типа ВТО представляют собой аэрозольные генераторы.

Самые распространенные из них ВТО-1, ВТО-5, СОТ-5М, ВТО-6. Они предназначены для ликвидации пожаров в замкнутых объектах при горении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (нефтепродуктов, растворителей, спиртов и др., Твердых горючих материалов, электрооборудования, в том числе такого, находящегося под напряжением).

Места стоянок и участков для ТО ВС ГА разрабатываются согласно «Строительными нормами и правилами», «Нормами технического проектирования аэропортов», «Руководством по аэродромной службе ГА Украины» места стоянок должны быть оборудованы первичными средствами пожаротушения. Опасность пожара на ПС обусловлено следующими причинами:

- использование открытого огня при выполнении демонтажно-монтажных работ;
- □ использование переносных ламп с неисправной изоляцией и с

взрывоопасными лампами;

- □ использование легковоспламеняющихся и горючих жидкостей для очистки поверхностей внутри объектов. С целью предупреждения возникновения пожара предлагается установить датчики пожара со звуковой и световой сигнализацией на местах стоянок самолетов и в ангарах для технического обслуживания.

С такой же целью сварочные работы предлагается проводить на специальной площадке в стороне огнеопасных объектов, где есть средства пожаротушения. Чтобы исключить нагрев других элементов конструкции от элементов высотной системы применена теплоустойчивая изоляция на основе пластмасс, содержащих фтор.

При ТО топливной системы предлагаются следующие меры безопасности:

- □ использовать только исправный и маркированный инструмент;
- □ обращаться с агрегатами осторожно, чтобы исключить получение травм;
- □ при работе в труднодоступных и слабо освещенных местах пользоваться только исправными переносными лампами, чтобы предотвратить искрообразования;
- □ при использовании легковоспламеняющихся и горючих веществ для очистки поверхностей необходимо использовать ванночки, волосяные кисти, щетки.

Эти работы запрещается совмещать с использованием источников явного тепла, не отвечающих потребностям пожарной, взрывной безопасности, с включением и выключением источников и пользователей электроэнергии на самолете, а также работ, которые могут вызвать образование искр.

Возобновление работ по ТО топливной системы после использования легковоспламеняющихся и горючих жидкостей допускается после проветривания и удаления паров жидкостей, использовались. В целях улучшения вентиляции предлагается использовать вентиляторы. Начинать монтаж или демонтаж агрегатов и трубопроводов не ранее, чем через 30 минут после остановки двигателей, демонтажно-монтажные работы выполнять в хлопчатобумажных перчатках.

Монтаж и демонтаж агрегатов и узлов самолета следует выполнять,

предварительно выключив автоматы защиты сети (АЗС) на панелях АЗС и вывесив на панелях АЗС и приборной доске предупредительный знак НЕ ВКЛЮЧАТЬ - РАБОТАЮТ ЛЮДИ, выполненный по ГОСТ 12.4.026-76.

4.6 Инструкция по технике безопасности при техническом обслуживании топливной системы

Перед началом работы необходимо:

1. исключить возможность самоотката заправщика путем постановки на ручной тормоз и установки под колеса колодок;
2. надежно заземлить заправщик и самолет;
3. размотку рукавов с барабанов выполнять в рукавицах;
4. проверить надежность соединения рукавов с самолетом и заправщиком;
5. размотку рукавов производить при условии отсутствия дефектов покрытия, которые могут нанести механические повреждения шланга;
6. в первую очередь подключить рукава к штуцер заправщика, а только потом к бортовым клапанам заправки воздушного судна;
7. проверить надежность крепления и отсутствия течения на рукавах;

К работе можно приступать при отсутствии запаха и разлитых на месте стоянки ГСМ, при отсутствии грозы и других неблагоприятных метеорологических условий.

Во время работы:

1. не допускается включать электросети самолета, не связанные с процессом заправки;
2. не допускается нахождение в рабочей зоне посторонних;
3. не допускается проведение на самолете других работ по ТО.

При проливе топлива (ТС-1, РТ, Jet A-1) работы останавливаются до полного

удаления жидкости из рабочей зоны.

По завершению работ:

1. перед отсоединением рукава откачать из него топливо в заправщик;
2. противооткатные колодки убрать только после приведения заправщик в транспортное положение.

На производственной площадке предусмотрено расположение противопожарного щита, в состав которого входят следующие единицы: багор, ведро, лопата, ящик с песком, огнетушитель, топор, лом. Каждая стоянка, на которой проводятся работы с ТО топливной системы должна быть оборудована стационарными или передвижными установками пожаротушения.

Выводы к разделу 4

При разработке данной части были рассмотрены основные нормативы и положения охраны труда, необходимо соблюдать при эксплуатации топливной системы согласно «Закону Украины об охране труда» от 14 октября 1992 года № 2694-ХІІ, и определены основные принципы государственной политики в области охраны труда.

1. Определены основные опасные и вредные производственные факторы имеющие место при ТО топливной системы самолета.

2. Проведен расчет защитного контурного заземления стоянки, где проводится заправки самолета ГСМ, по результатам которого заземления удовлетворяет выдвинутым нормативными документами требованиям ПУЭ-86 и имеет запас в 9%, добавление стержней позволяет увеличить полученный запас по защитного заземления.

3. Предложены мероприятия по повышению пожарной безопасности при ТО топливной системы. Организационные мероприятия по обеспечению взрывобезопасности включают в себя: разработку системы инструктивных

материалов наглядной агитации, регламентов и норм ведения технологических процессов, правил обращения с взрывоопасными веществами и материалами; организацию обучения, инструктажа и допуска к работе обслуживающего персонала взрывоопасных производственных процессов; осуществление контроля и надзора за соблюдением норм технологического режима, правил и норм техники безопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности и т.п.

4. Разработана инструкция по технике безопасности инженерно-технического состава при ТО топливной системы ВС, применение которой, как предполагается, значительно снизит уровень возникновения травматизма при обслуживании топливной системы и уменьшит влияние вредных факторов на организм обслуживающего персонала.

5 ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

5.1 Общие положения

Авиационное топливо – продукт нефтяного производства, отвечающий за работу двигателей различных типов воздушного транспорта. В зависимости от состава, сферы применения и эксплуатационных характеристик, топливо бывает разных видов. Выделяют два основных: авиационный керосин (еще его называют реактивным топливом) и авиационный бензин. Каждый двигатель разрабатывается с учетом использования конкретного вида топлива, обеспечивающего необходимую скорость и надежность. Если использовать горючее, не предназначенное для данного типа двигателя, то можно снизить его рабочий ресурс и характеристики мощности самого летательного аппарата.

Авиационное топливо – керосин для реактивных двигателей – используют для заправки большинства самолетов. Оно бывает различных марок. В нашей стране применяется шесть различных типов, особенности выбора зависят от условий и характеристик самого летательного аппарата. Например, в сфере дозвуковой авиации применяется керосин марки ТС-1, содержащий большое количество серы в

составе. А сверхзвуковые самолеты работают на марках ТС-8 или ТС-6. Маловысотные летательные аппараты заправляются керосином ТС-2.

Для реактивных топлив основными показателями качества являются:

- массовая и объёмная теплота сгорания;
- термостабильность топлива;
- давление насыщенных паров;
- кинематическая вязкость;
- совместимость с конструкционными и уплотнительными материалами;
- нагарные и противоизносные свойства;
- электропроводность;
- серность;
- кислотность;

Реактивные топлива вырабатываются в основном из среднестиллятных фракций нефти, выкипающих при температуре 140—280 С° (лигроино-керосиновых). Широкофракционные сорта реактивных топлив изготавливаются с вовлечением в переработку бензиновых фракций нефти. Для получения некоторых сортов реактивных топлив (Т-8В, Т-6) в качестве сырья применяются вакуумный газойль и продукты вторичной переработки нефти.

Реактивные топлива на 96—99 % состоят из углеводородов, в составе которых различают три основные группы:

- парафиновые
- нафтеновые
- ароматические.

Кроме углеводородов в реактивных топливах в незначительных количествах присутствуют сернистые, кислородные, азотистые, металлоорганические соединения и смолистые вещества. Их содержание в реактивных топливах регламентируется стандартами.

На сегодняшний день в гражданской авиации используются следующие типы авиационного топлива:

ТС-1 — прямогонная фракция 150 – 250 °С, либо смесь прямогонных и гидроочищенных фракций (основным ограничением является содержание общей серы и меркаптановой не более 0,2 % и 0,003 %). Самый массовый вид авиационного топлива, предназначенный для всех типов турбовинтовых и дозвуковых турбореактивных двигателей, также на нём эксплуатируются самолёты зарубежных производителей. По своим характеристикам и области применения примерно соответствует зарубежному керосину Jet A-1. Является резервным по отношению к топливу РТ.

РТ — высококачественное топливо, нефтяная фракция 135—280 С° с полной гидроочисткой. Содержание серы: общей — 0,1 %, меркаптановой — 0,001 %. В связи с гидрокрекингом топливо «сухое», то есть имеет низкие смазывающие свойства. В процессе производства в него вводятся антиокислительная и антиизносная присадки. Предназначено для турбореактивных дозвуковых и некоторых сверхзвуковых самолётов, а также в качестве резерва топлива ТС-1. Зарубежных аналогов для данного топлива нет.

Т-6 и Т-8В — термостойкое реактивное топливо для двигателей некоторых сверхзвуковых самолётов. Производятся по очень сложной технологии с гидроочисткой и введением присадок. Эти топлива производятся только для нужд военой авиации.

Для поршневых двигателей применяется авиационный бензин, хотя в последнее время поршневые двигатели адаптированы под использование обычного автомобильного бензина марки А-95.

Показатели качества авиационного бензина: Детонационная стойкость. Определяется на топливо-воздушной смеси различного состава. Температура кристаллизации — чем она ниже, тем выше качество. Особый фракционный состав. Отсутствие смолистых веществ или наличие их в минимальном количестве. Отсутствие сернистых соединений и кислот. Высокая теплота сгорания. Высокие антидетонационные свойства. Отличная стабильность при хранении. Все эти

характеристики определяют качество авиационных топлив, а значит, и степень надежности работы двигателя.

5.2 Требования к качеству авиационного топлива

В настоящее время на основе положений ASTM D 1655-12 Standard specification for aviation turbine fuels (Стандартная спецификация на авиационные турбинные топлива) и DEF STAN 91-91/7 Standards for Defense - Turbine fuel, aviation kerosine type, Jet A-1. NATO Code: F-35. JSD:AVTUR (Топлива для газотурбинных двигателей, тип авиационный керосин Jet A-1) предъявляются следующие требования к авиационному топливу (табл.1):

Таблица 5.1 - Требования к авиационному топливу

Наименование показателя	Значение	Метод испытания
1 Внешний вид : а) визуальная оценка	Чистое прозрачное, не должно содержать воды, осадка и взвешенных частиц при температуре окружающей среды	Визуально
б) цвет, баллы по шкале Сейболта	Не нормируется.	По стандартам
в) содержание механических примесей и воды	Определение обязательно Отсутствие	По стандартам
2 Кислотное число общее , мг КОН/г, не более	0,10	По стандартам
3 Объемная доля ароматических углеводородов, %, не более	25,0	По стандарту
4 Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,0030	По стандартам
или докторская проба	Отрицательная	По стандартам
5 Массовая доля общей серы, %, не более	0,25	По стандартам
6 Фракционный состав, °С: 10% отгоняется при температуре, °С, не выше 50% отгоняется при температуре, °С 90% отгоняется при температуре, °С, не выше остаток от разгонки, %, не	205,0 Не нормируется. Определение обязательно 300,0 1,5	По стандарту

более потери от разгонки, %, не более	1,5	
7 Температура вспышки в закрытом тигле , °С, не ниже	38,0	По стандартам
8 Плотность при температуре 15°С, кг/м	775,0-840,0	По стандартам
9 Температура замерзания , °С, не выше	-47,0	По стандартам
10 Кинематическая вязкость при температуре -20 °С, мм /с, не более	8,000	По стандартам
11 Низшая теплота сгорания , МДж/кг, не менее	42,80	По стандартам
12 Высота некоптящего пламени, мм, не менее или при объемной доле нафталиновых углеводородов не более 3% , не менее	25,0 19,0	По стандарту По стандартам
13 Коррозия медной пластинки (2 ч ±5 мин) при температуре 100 °С, класс, не более	1	
14 Термоокислительная стабильность при контрольной температуре испытания не ниже 260 °С в течение 2,5 ч: перепад давления на фильтре, кПа (мм рт.ст.), не более цвет отложений на трубке (при отсутствии нехарактерных отложений) , не более	3,3 (25) 3	По стандартам
15 Концентрация фактических смола , мг/100 см , не более	7	По стандарту
16 Взаимодействие с водой: а) оценка поверхности раздела фаз, баллы , не более б) оценка светопропускания топлива микросепарометром, не менее: с антистатической присадкой без антистатической присадки	1b 70 85	По стандарту По стандарту
17 Удельная электрическая проводимость , пСм/м, для топлива: без антистатической присадки при температуре 20 °С, не более с антистатической присадкой (при температуре заправки	10 50	По стандартам

летательного аппарата), не менее с антистатической присадкой при температуре 20 °С, не более	600	
18 Смазывающая способность, диаметр пятна износа, мм, не более	0,85	По стандарту

В топливо могут быть введены следующие антиокислительные присадки:

2,6-ди-*трет*-бутилфенол;

2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфенол;

2,4-диметил-6-*трет*-бутилфенол;

а также их смесь, % об.:

- не менее 75% 2,6-ди-*трет*-бутилфенола и не более 25% смеси моно-*трет*- и 3-*трет*-бутилфенола;

- не менее 55% 2,4-диметил-6-*трет*-бутилфенола и не менее 15% 4-метил-2,6-ди-*трет*-бутил-фенола, оставшаяся часть в виде смеси монометил-*трет*-бутилфенола с диметил-*трет*-бутилфенолом;

- не менее 72% 2,4-диметил-6-*трет*-бутилфенола и не более 28% смеси *трет*-бутилметилфенолов с *трет*-бутилдиметилфенолами.

Количество введенных присадок не должно превышать 24 мг/дм активных компонентов (без растворителя).

На месте производства топлива допускается содержание не более 3 мг/дм антистатической присадки STADIS 450.

На месте применения общее количество присадки в топливе не должно превышать 5 мг/дм.

При производстве топлива согласно стандарту в него может быть введено от 15 до 23 мг/дм противоизносной присадки Hitec 580.

Топливо не должно содержать поверхностно-активных и других химических веществ в количестве, ухудшающем его свойства.

5.3 Требования безопасности

Топливо является малоопасным продуктом и по степени воздействия на организм человека, в соответствии со стандартом к 4-му классу опасности.

Предельно допустимая концентрация паров алифатических предельных углеводородов $C_1 - C_{10}$ в воздухе рабочей зоны составляет 300 мг/м³.

Требования к предельно допустимым концентрациям паров углеводородов в атмосферном воздухе населенных мест, в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, в почве и контроль концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны устанавливают в соответствии с утвержденными нормативными документами.

Пары алифатических предельных углеводородов при вдыхании оказывают наркотическое действие на организм человека.

При попадании на слизистые оболочки и кожу человека топливо вызывает их поражение и возникновение кожных заболеваний.

Длительный контакт с топливом может привести к изменению функций центральной нервной системы и увеличить риск заболеваемости органов дыхания у человека.

В соответствии с ГОСТ 12.1.044 топливо представляет собой легковоспламеняющуюся жидкость с температурой самовоспламенения 230 °С.

При возгорании топлива применяют следующие средства пожаротушения: углекислый газ, химическую пену, перегретый пар, распыленную воду, порошок ПСБ-3; в помещении - объемное тушение.

В помещениях для хранения и эксплуатации топлива запрещается использовать открытый огонь, электрооборудование сети и арматура искусственного освещения должны быть выполнены во взрывозащищенном исполнении.

При работе с топливом не допускается использовать инструменты, дающие при ударе искру.

Емкости, в которых хранят и транспортируют топливо, должны быть защищены от статического электричества.

В помещениях для хранения топлива не допускается хранить кислоты, баллоны с кислородом или другие окислители.

5.4 Требования охраны окружающей среды

Основным средством охраны окружающей среды от вредных воздействий топлива является использование герметичного оборудования в технологических процессах и операциях, связанных с производством, транспортированием и хранением топлива, а также строгое соблюдение технологического режима.

При производстве, хранении и применении топлива должны быть предусмотрены меры, исключающие его попадание в системы бытовой и ливневой канализации, а также в открытые водоемы и почву, а его паров - в воздушную среду.

Для охраны атмосферного воздуха от загрязнения выбросами вредных веществ должен быть предусмотрен контроль за содержанием выбросов в соответствии с действующими стандартами.

5.5 Пути улучшения экологических свойств авиационного топлива

Сегодня основополагающим документом, законодательно устанавливающим требования к характеристикам топлива на уровне ЕС, является Директива 98/70/ЕС. В ней содержатся требования к основным параметрам моторных топлив.

Также существуют стандарты, устанавливаемые Европейским комитетом по стандартизации (CEN). Целью топливных стандартов CEN является не только снижение негативного воздействия транспорта на окружающую среду, но и поддержание долговечности и высокой производительности двигателей и других элементов современных воздушных судов.

С начала 2020 г. в авиации будет введено ограничение на выбросы вредных веществ, а к 2050 г. планируется сократить выбросы углекислого газа на 50 % по сравнению с показателями 2005 г. Кроме того, Европейская комиссия настаивает на том, чтобы к 2020 г. в авиационной отрасли использовалось около 4 % топлива, полученного из биологических источников. Также разрабатывается водородное

топливо - это почти идеальное экологически чистое топливо, выделяет при сгорании в основном воду и незначительное количество окислов азота. По теплотворной способности водород вдвое превосходит традиционный авиационный керосин.

Пути решения проблем, возникающих при воздействии авиационного транспорта на окружающую среду:

- использование присадок к топливу, впрыск воды;
- обогащенные смеси в зоне горения;
- сокращение времени работы двигателей на земле;
- уменьшение числа работающих двигателей при рулении;
- модернизация двигателей; разработка альтернативных видов топлива;
- административные мероприятия.

Еще одно направление развития авиатопливного рынка совпадает с вектором движения рынка автомобильного — это снижение уровня вредных выбросов в атмосферу. Главная технология здесь — создание более чистого топлива, в первую очередь за счет разработки и использования биокомпонентов.

Биокеросин производят из биомассы с помощью процесса Фишера — Тропша, из растительного масла, создают горючее для самолетов и на основе этилового спирта. Биокомпоненты в разных пропорциях (максимум 50×50) смешиваются с обычным авиакеросином, что позволяет сократить объем выбросов углекислого газа в атмосферу почти на 50%.

На сегодня процедуру сертификации прошли несколько технологий производства авиационного биотоплива. Биокеросин производят из биомассы с помощью процесса Фишера — Тропша, из растительного масла, создают горючее для самолетов и на основе этилового спирта. Биокомпоненты в разных пропорциях (максимум 50×50) смешиваются с обычным авиакеросином, что позволяет сократить объем выбросов углекислого газа в атмосферу почти на 50 %. При этом конечный продукт по химическому составу эквивалентен традиционному авиатопливу, и его применение не влияет на эксплуатационные характеристики самолетов.

Одним из первых коммерческие заправки биотопливом начал аэропорт норвежского Осло, а пионером в использовании экологичного керосина стала немецкая Lufthansa. Использование биотоплива одобрено Федеральной авиационной администрацией США (FAA), им уже заправляют свои самолеты в США несколько десятков авиакомпаний.

Но у развития этого направления есть одно но — производство биотоплива пока слишком дорого, поэтому сегодня, во времена низких цен на нефть, оно не может на равных конкурировать с обычным Jet A-1, а тем более с ТС-1.

Выбросы от авиации происходят из-за использования топлива для реактивных двигателей (керосина) и авиационного бензина (используется только для небольших поршневых двигателей), которые используются в качестве топлива для ВС. Следовательно, основными загрязняющими веществами являются те, которые возникают в результате сжигания, т. е. CO_2 , CO, углеводороды и оксиды азота, при этом выбросы SO_2 зависят от уровня серы в топливе. Другими важными веществами, которые выделяются в относительно небольших концентрациях, являются N_2O и CH_4 .

В авиации для заправки поршневых двигателей успешно применяется унифицированный сорт бензина Б-92 (ТУ 38.401-58-47-92) с улучшенными эксплуатационными и экологическими свойствами, отличающийся от бензинов Б-91/115 и Б-95/130 с пониженным содержанием ТЭС, серы и оптимальным давлением насыщенных паров.

Выводы к разделу 5

При разработке данного раздела дипломной работы были рассмотрены требования ИКАО к качеству авиационного топлива и рекомендации улучшению экологических свойств.

1. Определены основные вредные вещества, образующиеся при сгорании топлива и влияние их на окружающую среду.
2. Проведен анализ основных направлений, по которым разрабатываются альтернативные топлива с пониженным выбросом вредных веществ при сгорании.

3. Предложены пути улучшения экологических свойств топлив, которые применяются при эксплуатации авиационной техники.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Выполнен анализ современных методов упрочнения и восстановления поверхностей трения, который позволил сформулировать требования к разработке защитных покрытий.

2. На основе анализа эксплуатации определены характерные повреждения конструктивных элементов ТНВД двигателей Д-30КП/КП2, которые работают в условиях трения и влияют на параметры рабочего процесса.

3. Определена цель, задачи исследований, объект, предмет и методы, а также разработана схема исследований.

4. Определено, что решение задач восстановления работоспособности плунжеров ТНВД возможно с использованием восстановительных технологий детонационным напылением поверхностного слоя.

5. Разработана процедура модельного эксперимента процессов изнашивания плунжерных пар ТНВД с использованием предложенных износостойких материалов.

6. Исследованы и определены составляющие композиционного материала на основе железа и их оптимальный состав.

7. Разработана модель процессов изнашивания покрытий в условиях эксплуатации, которая позволяет создавать покрытия с заранее заданными свойствами.

8. Исследованы и определены характеристики прочности сцепления, скорости изнашивания и микротвердости материала, а также проведен сравнительный анализ с наиболее распространенным упрочняющим материалом типа ВК-15.

9. Предложенный композиционный материал Fe-C-Cr-Al-B может использоваться как износостойкое покрытие элементов ВС, работающих в условиях

трения, в частности для восстановления плунжерных пар насосов высокого давления авиационных двигателей.

10. Разработана технология нанесения предложенного композиционного материала с использованием существующих производственных возможностей ремонтного производства.

11. Разработаны методологические принципы испытаний восстановлены деталей на коэффициент трения и интенсивность изнашивания при различных скоростях скольжения и различных удельных нагрузках.

Приведенные данные показывают, что предложенный материал нанесения детонационных покрытий вполне может заменить дорогие износостойкие материалы типа ВК-15 на основе вольфрама. Проведенные испытания показали возможность восстановления деталей, для которых износ выходит за пределы ремонтных допусков. При этом ресурс восстановленных деталей может составлять даже больше ресурса новых деталей.

12. Также в работе проведен расчет вентиляции участка детонационного нанесения покрытий, разработана инструкция по охране труда при работе с установкой детонационного нанесения покрытий, а также разработаны мероприятия по охране окружающей среды при ремонте изделий авиационной техники.

Научная новизна состоит в следующем:

- получил дальнейшее развитие метод классификации повреждений плунжерных пар ТНВД авиационных двигателей в эксплуатации с конкретизацией причин их возникновения;
- дано научное обоснование возможностей повышения ресурса деталей АТ за счет технологии нанесения композиционных детонационных покрытий с повышенными эксплуатационными возможностями;
- получили дальнейшее развитие экспериментальные методы контроля качества нанесения детонационных покрытий на различные конструкционные материалы с условием аддитивного действия циклических нагрузок и температуры;

– разработаны модели процесса нанесения композиционных покрытий на основе Fe, которые устанавливают взаимосвязь конструктивных, технологических и эксплуатационных параметров с границей выносливости и шероховатостью рабочих поверхностей, что позволяет рассматривать технологию нанесения покрытий как метод управления свойствам поверхностного слоя;

– предложено композиционный материал на основе Fe для детонационного восстановления поверхностных слоев деталей АТ, в частности плунжерных пар ТНВД авиационных двигателей, что дает возможность значительно увеличить их ресурс.

Практическая значимость

Результаты, изложенные в магистерской работе, позволяют повысить эффективность ремонта деталей авиационной техники, работающих в условиях трения за счет расширения номенклатуры изделий и увеличения их ресурса.

Разработанный композиционный материал на основе Fe и предложенная технология его нанесения может значительно удешевить процесс ремонта и может быть предложен для предприятий, связанных с ремонтом авиационной техники.

СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фень Е.К., Малишкін В.В., Дмитренко В.М. Зміцнення та володіння деталей авіаційної техніки жаростійкими покриттями. В зб. праць III Міжнародної науково-технічної конференції АВІА-2001, – К.: НАУ, 24-26 квітня, 2001, Т.1. – С.17–19.

2. Варюхно В.В., Сидоренко О.Ю., Євсюков Є.Ю., Машинська Н.В. Методика розрахунку ресурсу та прогнозування довговічності деталей машин при навантаженні тертям. Вісник НАУ: Сб. наук. пр. – Київ: НАУ, 2011. – № 4. – С.103-105.

3. Подчерняева И.А.,Щепетов В.В., Варюхно В.В., Евсюков Е.Ю. Закономерности изнашивания покрытий на основе композиционной керамики. Современные проблемы подготовки производства, обработки, сборки и ремонта в

промышленности и на транспорте: Материалы 11-го Международного научно-технического семинара (21-25 февраля 2011). К.: АТМ, 2011. – С.210-212.


4. Авиационные двухконтурные двигатели Д-30КУ и Д-30КП (конструкция, надежность и опыт эксплуатации) /Л.П. Лозицкий, М.Д. Авдошко, В.Ф. Березлев. – М.: Машиностроение. 1988. – 288с.

5. Гончаров В.Г. Математическое планирование оптимизации коэффициента трения при дискретном упрочнении элементов трибосистем. // Вестник ХНАДУ. – Харьков. – 2005. – Выпуск 30 – С. 36-39.

6. Прокопов В.Г., Швец Ю.И., Фиалко Н.М., Меранова Н.О., Коржик В.Н., Борисов Ю.С. Исследование теплового состояния системы покрытие-основа в условиях газотермического напыления // Физика и химия обраб. материалов. – 1989. – №6. – С. 42-45.

7. Борисов Ю.С., Астахов Е.А., Коржик В.Н., Чернышов А.В., Борисова А.Л., Губенко Б.Г. Влияние состава детонирующей среды на формирование аморфно-кристаллических покрытий // Автоматическая сварка. – 1993. – №6. – С.83-93.

8. Коняев Е.А., Урявин С.П. Разработка метода обеспечения надежности золотниковых пар топливорегулирующей аппаратуры ГТД.//Научный Вестник МГТУ ГА №147 – М.: МГТУ ГА, 2009, С.128-135.

9. Зверев А.И., Шаривкер С.Ю., Астахов Е.А. Детонационное напыление покрытий. Л. : Судостроение, 1979. –232 с.

10.Ющенко К.А., Астахов Е.А., Клименко В.С., Борисов Ю.С. Детонационное напыление упрочняющих покрытий и пути его развития // Сб. трудов “Новые процессы и оборудование для газотермического и вакуумного покрытия. –К. –ИЭС им. Е.О.Патона. –1990. – С. 26-32.

11. Клименко В.С., Скадин В.Г., Астахов Е.А., Зверев А.И. Определение оптимальных параметров детонационного напыления покрытий // Порошковая металлургия. –1982. – №4. – С.61-65.

12.Астахов Е.А. Влияние детонационных покрытий на механические свойства изделий // Автоматическая сварка. – 2004. – №6. – С. 56-57.

13. Лозовский В.Н. Надежность и долговечность золотниковых и плунжерных пар. – М.: Машиностроение. 1970. – 280 с.

14. Бартенев С. С., Федько Ю. П., Григоров А. И. Детонационные покрытия в машиностроении.— Л. : Машиностроение. 1982. – 215 с.
15. Welham N.J., Wills P.E., Kerr T. Mechanochemical Formation of Metal-Ceramik Composites//J. Am.Ceram. Soc. – 2000. – №83. – P.33-40.
16. Борисов Ю.С. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник. – К.: 1987. – 260 с.
17. Поверхностная прочность материалов при трении /Б.И.Костецкий, И.Г.Носовский, А.К.Караулов и др. – Киев: Техника, 1986. – 296с.
18. Физика износостойкости поверхности металлов // Под ред. Владимирова В.И. Л., ФТИ. – 1988. – 230 с.
19. Попов А.А. Фазовые превращения в металлических сплавах. –М.: Металлургия. 1988. – 311с.
20. Зенкин Н.А., Копылов В.И. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов путем оптимизации упрочняющих технологий. – Киев.: ГСРЛМНМ. – 2002. – 269с.
21. Кузнецов В.Д., Пащенко В.М. Фізико-хімічні основи створення покриттів. – К.: НМЦ ВО. – 1999. – 176с.
22. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Нрановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Машиностроение. – 1986. – 147с.
23. Хо Кинг М., Васантасри В., Сидики П. Металлические и керамические покрытия: Получение, свойства и применение. – М.: Мир. – 2000. – 518с.
24. Подчерняева И.А., Щепетов В.В., Варюхно В.В., Евсюков Е.Ю. Закономерности изнашивания покрытий на основе композиционной керамики. Современные проблемы подготовки производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте: Материалы 11-го Международного научно-технического семинара (21-25 февраля 2011). К.: АТМ, 2011. – С.210-212.
25. Голего Н. Л. Схватывание в машинах и методы его устранения. – К.: Техника – 1965. – 280с.

26. Борисов Ю. С., Харламов Ю. А. Газотермические покрытия из порошковых материалов. – К.: Наукова думка. – 1987. – 160с.

27. Kretzchmar E. Variants of metal spraying and problems of atomisation in electric arc spraying / Proc. 7th Int. Metal Spray. Conf. – London, 1974. – P. 43-52.

28. Семенов А. П., Федько Ю. П., Григоров А, И. Детонационные покрытия и их применение. – М.: НИИмашиностроения. – 1977. – 112с.

29. Газотермическое напыление композиционных порошков/ А.Я. Кулик, Ю.С. Борисов, А.С. Мнухин, М.Д. Никитин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 240с.

30. Варюхно В.В., Кулініч О.В., Стороженко М.С., Євсюков Є.Ю., Білякович О.М. Визначення втомних змін експлуатаційних характеристик покриттів// Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте, 22-26 февраля 2016г., г. Свалява. – Киев: АТМ Украины, 2016. – С.48-49.

31. Варюхно В.В., Євсюков Є.Ю., Готун О.В., Статніков Ю.Я. Підвищення довговічності золотникових і плунжерних пар гідравлічних та паливних агрегатів// Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 15-й Международной научно-технической конференции. 01-05 июня 2015г. г, Затока. – Киев: АТМ Украины, 2015. – С.36-39.

32. Варюхно В.В., Евсюков Е.Ю., Готун Е.В., Кулинич А.В. Восстановление плунжерных пар топливных насосов высокого давления// Качество, стандартизация, контроль: теория и практика. Материалы 15-й Международной научно-практической конференции, 15-18 сентября 2015г. г, Одесса.- Киев: АТМ Украины, 2015. – С.41-43.

33. Щербина Д.О., Євсюков Є.Ю., Варюхно В.В., Готун О.В. Характерні пошкодження виконавчих елементів паливо-регулюючої апаратури авіаційних двигунів та можливості їх відновлення. Материалы 14-й Международной научно-технической конференции. Инженерия поверхности и реновация изделий. 02-06 июня 2014 г., Київ – К.: АТМ, 2014. – С. 28-30.

34. Энциклопедия безопасности / Н.С. Кулик, В.П. Харченко, М.Г. Луцкий и др.; под ред. Н.С. Кулика. – К.: Техника, 2008. – 1000 с.

35. Варюхно В.В., Євсюков Є.Ю., Сидоренко О.Ю. Відновлення геометричних форм поверхонь тертя матеріалами на основі заліза методом детонаційного напилення// Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 13-й Международной научно-технической конференции. 04-08 июня 2012 г, Ялта. – Киев: АТМ України, 2012. – С.266-268.

36. Варюхно В.В., Євсюков Є.Ю., Сидоренко О.Ю., Машинська Н.В. Методика розрахунку ресурсу та прогнозування довговічності деталей машин при навантаженні тертям. Вісник НАУ. – К.: НАУ, №4 2011. – С.103–105.

37. НПАОП 63.23 – 1.0 – 98. Правила безпеки праці при технічному обслуговуванні і поточному ремонті авіаційної техніки. Введ 01.01.99.

38. Буриченко Л.А., Гуливець В.Д. Охорона праці в авіації. – К., НАУ. – 2003. – 452 с.

39. Ісаєнко В.М., Криворотько В.М., Франчук Г.М. Екологія та охорона навколишнього середовища. Дипломне проектування: Навч. посіб. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. – 192 с.